GIS

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom, M.Kom

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

GIS

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom, M.Kom

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :
YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK
Jl. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

GIS, Sistem Informasi Geografis

Penulis :
Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom

ISBN : 9 786236 141649

Editor :
Muhammad Sholikan, M.Kom

Penyunting :
Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

Desain Sampul dan Tata Letak :
Irdha Yunianto

Penebit :
Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

Redaksi :
Jl. Majapahit no 605 Semarang
Telp. (024) 6723456
Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :
Universitas STEKOM
Jl. Majapahit no 605 Semarang
Telp. (024) 6723456
Fax. 024-6710144
Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang
Diarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Puji syukur pada Tuhan yang maha esa, buku *Geographic Information System* atau diterjemahkan dalam Bahasa Indonesia menjadi Sistem Informasi Geografis yang mengolah sistem informasi geografis yang menyatu dengan lingkungan sistem yang lainnya, misalnya pemerintahan, perusahaan, kelompok atau perorangan. Pengolahan data sistem informasi geografis dapat dilakukan secara konvensional atau secara komputerisasi. Sistem informasi geografis yang diolah dengan bantuan komputer digunakan dalam berbagai bidang ilmu geografi modern seperti investigasi teknis, manajemen sumber daya alam, manajemen asset pertanahan, kajian lingkungan, perencanaan wilayah, kartografi, kedaruratan bencana dan sistem pertahanan wilayah negara.

Sistem informasi geografis model konvensional dibuat melalui peta geografi. Penyajian peta ini dilakukan dengan cara kompilasi atau tumpang susun peta-peta yang berisi informasi yang diperlukan. Peta dijadikan sebagai pusat data untuk menyampaikan gagasan kepada orang lain. Tiap informasi yang diberikan akan menjamin orang dapat menangkap ide dari peta yang disajikan. Penyajian peta harus mudah, cepat dan dapat dilihat lewat indra penglihatan.

Sistem informasi geografis model baru dibuat dengan bantuan komputer, pesawat udara (drone), bahkan lewat satelit. Informasi geografis disajikan dalam bentuk data digital, peta dan tabel. Penyajian ini merupakan hasil pengolahan digital dengan mempergunakan perangkat lunak pengolah data geografi. Pembuatan peta dalam sistem informasi geografis dilakukan secara komputerisasi dengan memanfaatkan teknologi sistem computer digital untuk menghasilkan informasi spasial.

Pengolahan dan penyimpanan data pada sistem informasi geografi memanfaatkan komputer itu terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang dipakai dalam sistem informasi geografis berupa prosesor, memori komputer dan ruang penyimpanan data. Dasar pemilihan perangkat keras untuk keperluan sistem informasi geografis dilandasi pada jenis dan tingkat analisis data yang akan dilakukan serta jumlah data yang diproses untuk menghasilkan informasi yang berguna bagi pihak yang terkait. Sedangkan Perangkat lunak dari sistem informasi geografis pada umumnya menyajikan fungsi tertentu, seperti fungsi analisa, fungsi manajemen basis data spasial, dan fungsi penyajian data. Pemilihan perangkat lunak untuk sistem informasi geografis harus disesuaikan dengan keperluan penggunaan GIS.

Pada GIS terdapat dua jenis data, yaitu data spasial dan data atribut atau non spasial. Data Spasial yaitu jenis data yang merepresentasikan aspek-aspek ruang, menyangkut titik koordinat dari kondisi ruang yang terdapat di dunia nyata. Data spasial ini sering disebut pula sebagai data posisi, koordinat atau tata ruang. Data atribut atau data non spasial adalah jenis data yang merepresentasikan aspek-aspek deskriptif dari fenomena yang jadi modelnya. Aspek deskriptif ini mencakup properti dari fenomena yang bersangkutan hingga dimensi dari waktunya untuk kemudian di analisa objek dan lokasinya untuk pengambilan keputusan atau untuk membuat kebijakan tertentu. Pelaku analisa harus menguasai beragam disiplin ilmu, yaitu ilmu geografi, matematika dan statistik dan ilmu komputer. Pengguna informasi geografis ini adalah semua orang yang memerlukan informasi geografis.

Pada buku ini dibahas secara lengkap tentang cara menganalisa data grafis yang akan menjadi sumber informasi. Data spasial dapat berupa data grafis, peta analog, foto udara, citra satelit, survei lapangan, pengukuran teodolit, dan pengukuran sistem pemosisi global (GPS). Data spasial dapat berbentuk analog maupun digital. Data geografi juga dapat berbentuk data atribut. Informasi yang diperoleh dari data atribut adalah penjelasan tentang objek geografi. Bentuk informasi dalam data atribut yaitu angka, foto, dan narasi. Data atribut dapat diperoleh melalui metode statistika, pengukuran lapangan, dan sensus. Komponen terpenting dalam sistem informasi geografis adalah pengguna. Pada sistem informasi geografi pengguna dapat dibedakan menjadi pelaku analisa atau pengguna informasi.

Semarang, 10 Juni 2021

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom, M.Kom

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

BAB 1 PENGENALAN GIS **1**

1.1 Pendahuluan **1**

1.2 Apakah GIS itu?

1.2.1 GIS : Alat Penting di manapun kita berada

1.2.2 Mengapa Kita Membutuhkan GIS?

1.2.3 GIS dalam Pemakaian

1.3 Komponen GIS **17**

1.3.1 Hardware GIS

1.3.2 Software GIS

1.4 Konsorsium Geospasial **18**

1.4.1 ArcGIS

1.5 Software ArcGIS yang Khusus **20**

1.5.1 QGIS

1.5.2 GeoMedia

1.5.3 MapInfo

1.5.4 Idrisi

1.5.5 Manifold

1.5.6 Maptitute

1.5.7 MAP 3D AUTOCAD

1.5.8 GRASS

1.5.9 MicroImage

1.5.10 ERDAS

1.5.11 Bentley Map

1.5.12 Smallworld

1.6 GIS dalam Organisasi **25**

1.6.1 Ciri-ciri dan Contoh Data Spasial

1.6.2 Bentuk Asli Data Spasial: Maps

1.6.3 Data spasial

1.6.4 Pembatasan Ruang Lingkup

1.6.5 Data Spasial untuk Pengambilan Keputusan

1.7 Kumpulan Data Spasial: Database **28**

1.7.1 Database Spasial: Sifat yang Permanen

1.7.2 Sifat Berkelanjutan dari Basis Referensi

1.7.3 Sifat Berkelanjutan dari Data

1.8 Abstraksi Entitas **31**

1.8.1 Banyaknya Sistem Koordinat Spasial yang Ada

1.8.2 Data Tersedia tapi Tidak Cocok

1.8.3 Upaya yang Diperlukan untuk Pembangunan

1.8.4 Lingkungan yang Berubah

1.9 Kesimpulan **32**

1.10 Soal Latihan **33**

1.11 Daftar Pustaka **33**

BAB 2 MODEL DATA **35**
2.1 Pendahuluan **35**
2.2 Koordinat Data **38**
2.2.1 Ellipsodial Bumi
2.2.2 Mengubah Jarak Busur ke Permukaan
2.2.3 Mengkonversi Arc ke Surface Distance
2.2.4 Geografis ke Koordinat Kartesius 3 Dimensi
2.2.5 Jenis dan Atribut Data
2.3 Model Data Spasial Umum **48**
2.3.1 Beberapa Paradigma untuk Menyimpan Data Geografis
2.3.2 Model Data Vektor
2.3.3 Poligon dalam Poligon — Kalkulasi Keliling dan Luas
2.3.4 Poligon Multibagian
2.3.5 Kumpulan Data Geografis Berbasis Vektor— Konstruksi Logis
2.3.6 Inklusi Poligon dan Generalisasi Batas
2.3.7 Topologi Vektor
2.3.8 Fitur Vektor, Tabel, dan Struktur
2.4 Model Data Raster **64**
2.4.1 Fitur Raster dan Tabel Atribut
2.4.2 Perbandingan Model Data Raster dan Vektor
2.4.3 Konversi Antara Model Raster dan Vektor
2.5 Model Data Lainnya **71**
2.5.1 Jaringan Tidak Teratur Triangulasi
2.5.2 Banyaknya "Storadigma"
2.5.3 Objek — Kenalan Pertama
2.5.4 Struktur Data Shapefile
2.5.5 Shapefile — Tata Letak di Komputer
2.5.6 Model Data Objek
2.5.7 Model Data Tiga Dimensi
2.5.8 Beberapa Model
2.6 Dimensi Spasial Ketiga **83**
2.6.1 3-D: 2-D (Spasial) Plus 1-D (Spasial)
2.6.2 ArcScene
2.6.3 ArcGlobe
2.7 Dimensi Waktu **84**
2.7.1 3-D: 2-D (Spatial) Plus 1-D (Temporal)
2.8 Struktur Data dan File **85**
2.8.1 Bilangan Biner dan ASCII
2.8.2 Pointer dan Indeks
2.8.3 Kompresi data
2.8.4 Piramida Raster
2.8.5 Format File Umum
2.9 Kesimpulan **93**
2.10 Soal Latihan **94**
2.11 Daftar Pustaka **97**

BAB 3 GEODESI, DATUM, PROYEKSI MAP DAN SISTEM KOORDINASI **100**
3.1 Pendahuluan **100**

3.2 Sistem Informasi **101**
3.2.1 Pengukuran Awal
3.2.2 Menentukan Ellipsoid
3.2.3 Geoid
3.3 Datum Horizontal **109**
3.3.1 Penyesuaian Datum
3.3.2 Transformasi Datum
3.3.3 Ketinggian dan Data Vertikal
3.3.4 Vdatum
3.3.5 Ketinggian Dinamis
3.4 Menentukan Letak Suatu Sistem Koordinat **119**
3.4.1 Sistem Koordinat Kartesius
3.4.2 Sistem Koordinat Bola
3.4.3 Menentukan Dimana Letak Sesuatu: Lintang dan Bujur
3.4.4 Geodesi, Sistem Koordinat, Proyeksi Geografis, dan Skala
3.4.5 Sistem Koordinat yang Diproyeksikan
3.5 Geografis vs. Proyeksi **124**
3.5.1 Koordinat: Perbandingan
3.5.2 Proyeksi Peta Umum dalam GIS
3.5.3 Proyeksi Peta dan Sistem Koordinat
3.5.4 Sistem Koordinat Pesawat Negara
3.5.5 Sistem Koordinat Nasional
3.5.6 Proyeksi Kontinental dan Global
3.5.7 Sistem Survei Tanah Umum
3.6 Kesimpulan **137**
3.7 Soal Latihan **138**
3.8 Daftar Pustaka **141**

BAB 4 MAPS, DATA ENTRI, EDITING DAN OUTPUT **144**
4.1 Membangun Database GIS **144**
4.1.1 Pendahuluan
4.1.2 Jenis Peta
4.1.3 Skala Peta
4.1.4 Generalisasi Peta
4.1.5 Batasan Peta dan Data Spasial
4.2 Digitalisasi : Pengambilan Koordinat **153**
4.2.1 Digitalisasi Pada Layar
4.2.2 Digitalisasi Hardcopy Map
4.2.3 Karakteristik Digitalisasi Manual
4.2.4 Proses Digitalisasi
4.2.5 Digitalisasi Error, Node dan Line Snapping
4.2.6 Reshaping : Line Smoothing dan Thinning
4.2.7 Scan (Pemindaian) Digitalisasi
4.2.8 Editing Data Geografis
4.2.9 Dua Sistem Koordinat yang Diproyeksikan: UTM dan Bidang Bagian
4.2.10 Fitur Umum untuk Beberapa Layer
4.3 Transformasi Koordinat **164**
4.3.1 Titik Kontrol (Control Point)

4.3.2 Dua Sistem Koordinat yang Diproyeksikan: UTM dan Bidang Bagian
4.3.3 Transformasi Koordinat
4.3.4 Dimensi Fisik
4.3.5 Entitas Dimensi Nol dalam Bidang Dua Dimensi: Titik
4.3.6 Entitas Satu Dimensi dalam Bidang Dua Dimensi: Garis
4.3.7 Entitas Dua Dimensi dalam Bidang Dua Dimensi: Poligon
4.3.8 Entitas Tiga Dimensi dalam Bidang Tiga Dimensi: Segitiga dan Multipatch
4.3.9 Mekanisme Khusus Penyimpanan Data Vektor Spasial Esri
4.3.10 Sistem Penentuan Posisi Global
4.4 Output : Map, Data Digital, Metadata 176
4.4.1 Kartografi dan Desain Map
4.4.2 Output Data Digital
4.4.3 Metadata : Dokumentasi Data
4.5 Kesimpulan 185
4.6 Soal Latihan 186
4.7 Daftar Pustaka 189

BAB 5 SISTEM SATELIT NAVIGASI GLOBAL DAN SURVEI KOORDINAT 191
5.1 Pendahuluan 191
5.1.1 GPS dan GIS
5.1.2 Anatomi Singkatan: GPS
5.1.3 Bumi
5.1.4 Satelit yang Mengitari Bumi
5.1.5 Stasiun Darat
5.1.6 Penerima (Receiver)
5.1.7 Produsen Receiver
5.1.8 Dasar GNSS
5.1.9 Rentang Jarak
5.1.10 Posisi Tidak Pasti
5.1.11 Sumber Jarak Error
5.1.12 Geometri Satelit dan Delusipada Presisi
5.2 Koreksi Diferensial 207
5.2.1 Pemosisian Diferensial secara Real Time
5.2.2 WAAS dan Koreksi Berbasis Satelit
5.2.3 Pemposisian Titik Yang Tepat
5.2.4 Perhatian pada Datum
5.3 Survei Koordinat Optik dan Laser 213
5.4 Aplikasi GNSS 215
5.4.1 Digitalisasi Lapangan
5.4.2 Akurasi dan Effektifitas Digitalisasi Tanah
5.4.3 Integrasi Pengintai
5.4.4 Pengukuran Tinggi GNSS
5.4.5 Pelacakan GNSS
5.5 Kesimpulan 225
5.6 Soal Latihan 226
5.7 Daftar Pustaka 228

BAB 6 GAMBAR SATELIT DAN UDARA

6.1 Prinsip Dasar **232**
6.2 Gambar Udara **234**
6.2.1 Kamera Pesawat, Format dan Sistem
6.2.2 Kamera Digital Udara
6.2.3 Kamera Film dan Film
6.2.4 Kualitas Geometris pada Gambar Udara
6.2.5 Distorsi Medan dan Kemiringan pada Gambar Udara
6.2.6 Kesalahan Sistem: Media, Lensa, dan Distorsi Kamera
6.2.7 Liputan Fotografi Stereo
6.2.8 Koreksi Geometris Gambar Udara
6.2.9 Interpretasi Foto
6.3 Gambar Satelit **254**
6.3.1 Prinsip Dasar Scanner *Gambar* Satelit
6.3.2 Sistem Satelit Resolusi Tinggi
6.3.3 Sistem Satelit Resolusi Menengah
6.3.4 Landsat
6.3.5 Resourcesat
6.3.6 RapidEye
6.3.7 Resolusi Kasar, Sistem Satelit Global
6.3.8 MERIS
6.3.9 Sistem Lainnya
6.3.10 Gambar Satelit di GIS
6.3.11 Gambar Udara atau Satelit: Mana yang Digunakan?
6.4 LiDAR Lintas Udara **267**
6.4.1 Sumber Gambar
6.4.2 Kendaraan Udara Tak Berawak Kecil: Drone
6.5 Kesimpulan
6.6 Soal Latihan
6.7 Daftar Pustaka

BAB 7 DATA DIGITAL
7.1 Pendahuluan
7.2 Daftar Pustaka

BAB 8 TABEL **282**
8.1 Pendahuluan **282**
8.1.1 Layanan Map vs. Data yang Dapat Disimpan Secara Lokal
8.1.2 Struktur Data Database
8.1.3 Software Database
8.2 Teknologi Database ArcSDE **286**
8.2.1 Geodatabase — Tata Letak di Komputer
8.2.2 Geodatabase — Konstruksi Logis
8.2.3 Geodatabase — Bentuk Fitur
8.2.4 Titik
8.2.5 Garis
8.2.6 Poligon
8.2.7 Poligon Bersarang di Geodatabase
8.2.8 Geodatabase dan Atribut

8.2.9 Subtipe
8.2.10 Komponen dan Karakteristik Database
8.2.11 Penginderaan jauh
8.2.12 Struktur Konseptual, Fisikal dan Logikal
8.2.13 Database Relasional
8.2.14 Mendapatkan Informasi dari Relational Database: Kueri
8.2.15 Ekonomi dalam Database Relasional
8.2.16 Operator Utama
8.2.17 Desain Database Hibrid pada GIS
8.3 Seleksi Berdasarkan Atribut 306
8.3.1 Batasi Operator : Tabel Kueri
8.4 Gabungan atau Relasi Tabel 311
8.4.1 Kunci Utama dan Gabungan
8.4.2 Kunci Asing
8.4.3 Kunci Gabungan
8.4.4 Gabungan Multitabel
8.5 Bentuk Normal dalam Database Relasional 317
8.5.1 Database – Apa yang dimaksud dengan Relasional
8.5.2 Database dan spreadsheet Relasional
8.5.3 Kunci dan Ketergantungan Fungsional
8.5.4 Bentuk Normal Pertama dan Kedua
8.5.5 Bentuk Normal Ketiga
8.6 Analisis Spasial dan Sintesis menggunakan GIS 327
8.6.1 Perangkat Keras Komputer
8.6.2 Input
8.6.3 Representasi
8.6.4 Komputasi
8.6.5 Output
8.6.6 Fenomena Kontinu dan Diskrit
8.6.7 Beberapa Implikasi Representasi Diskrit untuk GIS
8.7 Notasi Ilmiah, Signifikansi Numerik, Akurasi, dan Presisi 333
8.7.1 Berapa Umur Dinosaurus?
8.7.2 Presisi vs. Akurasi
8.7.3 Statistik Dasar
8.7.4 Rata-rata
8.7.5 Median
8.7.6 Modes
8.7.7 Range
8.7.8 Standar Deviasi
8.7.9 Menempatkan Nilai ke dalam Kelas
8.7.10 Skala Pengukuran
8.8 Kesimpulan 339
8.9 Soal Latihan 339
8.10 Daftar Pustaka 341

BAB 9 ANALISIS SPASIAL DASAR 342
9.1 Pendahuluan 342
9.1.1 Input, Operasi, dan Output

9.1.2 Cakupan
9.2 Seleksi dan Klasifikasi 346
9.2.1 Tetapkan Aljabar
9.2.2 Aljabar Boolean
9.2.3 Operasi Seleksi Spasial
9.2.4 Klasifikasi
9.3 Dissolve 356
9.4 Fungsi Buffering dan Proximity 357
9.4.1 Buffers
9.4.2 Buffers Raster
9.4.3 Buffers Vektor
9.5 Membuat Kelas Fitur Spasial Berdasarkan Kedekatan, Overlay, dan Atribut 365
9.5.1 Menghasilkan Fitur Berdasarkan Kedekatan: Buffering
9.5.2 Titik Buffer
9.5.3 Garis Buffer dan Poligon
9.6 Overlay 367
9.6.1 Raster Overlay
9.6.2 Vektor Overlay
9.6.3 Menghasilkan Fitur dengan Overlay
9.6.4 Overlay dengan Kelas Fitur Garis dan Titik
9.6.5 Mengoverlay Fitur Titik
9.6.6 Mengoverlay Fitur Garis
9.6.7 Data Geografis dan Atribut: Seleksi, Input dan Pengeditan
9.6.8 Kekuatiran tentang Cara menemukan dan mengumpulkan data
9.6.9 Mencari Data di Internet
9.6.10 Langkah-langkah dalam Mengembangkan Database
9.6.11 Klip, Intersect, dan Union : Kasus Khusus pada Overlay
9.6.12 Masalah pada Vector Overlay
9.6.13 Contoh Analisis Spasial
9.7 Analisis Jaringan 392
9.7.1 Geocoding
9.8 Kesimpulan 399
9.9 Soal Latihan 401
9.10 Daftar Pustaka 408

BAB 10 : TOPIK PADA ANALISIS RASTER 410
10.1 Pendahuluan 410
10.2 Map Aljabar 410
10.3 Fungsi Lokal 413
10.3.1 Fungsi Matematis
10.3.2 Operasi Logis
10.3.3 Klasifikasi Ulang
10.3.4 Fungsi Nested
10.3.5 Overlay
10.3.6 Gabungan Spasial Secara Umum
10.3.7 Menurunkan Kelas Fitur dengan Memilih Atribut: Ekstraksi
10.4 Fungsi Lingkungan, Zona, Jarak dan Global 427
10.4.1 Fungsi Zona

10.4.2 Permukaan Biaya (Cost Surface)
10.5 Kesimpulan 440
10.6 Soal Latihan 440
10.7 Daftar Pustaka 446

BAB 11 ANALISIS TERRAIN 447
11.1 Pendahuluan 447
11.1.1 Aspek dan Kemiringan
11.1.2 Fungsi Hidrologi
11.1.3 Plot Profil
11.1.4 Garis Kontur
11.1.5 Jarak Pandang
11.1.6 Peta Relief Berbayang
11.1.7 Software Analisis Medan
11.2 Kesimpulan 469
11.3 Soal Latihan 470
11.4 Daftar Pustaka 475

BAB 12 ESTIMASI SPASIAL : INTERPOLASI, PREDIKSI DAN AREA INTI 478
12.1 Pendahuluan 478
12.2 Sampling 479
12.2.1 Pola Pengambilan Sampel
12.3 Metode Interpolasi Spasial 483
12.3.1 Interpolasi Tetangga Terdekat
12.3.2 Radius Tetap – Rata-Rata Lokal
12.3.3 Interpolasi Tertimbang Jarak Terbalik
12.3.4 Splines
12.4 Prediksi Spasial 491
12.4.1 Regresi Spasial
12.4.2 Permukaan Tren dan Regresi Spasial Sederhana
12.4.3 Kriging dan Co-Kriging
12.4.4 Akurasi Interpolasi
12.5 Pemetaan Area Inti 502
12.5.1 Pusat Rata-rata dan Lingkaran Rata-rata
12.5.2 Lambung Cembung (Convex Hulls)
12.5.3 Karakteristik Poligon Lambung
12.5.4 Pemetaan Kernel
12.5.5 Estimasi Kepadatan Waktu-Geografis
12.6 Kesimpulan 516
12.7 Soal Latihan 517
12.8 Daftar Pustaka 521

BAB 13 MODEL SPASIAL DAN PERMODELAN 523
13.1 Pendahuluan 523
13.1.1 Produk GIS: Gambaran Umum Map dan Informasi Lainnya
13.1.2 GIS dan Kartografi— Kompatibilitas?
13.2 Pemodelan Kartografi 528
13.2.1 Merancang Model Kartografi

13.2.2 Pembobotan dan Peringkat
13.2.3 Peringkat Dalam Kriteria
13.2.4 Pembobotan Antar Kriteria
13.2.5 Model Kartografi: Contoh Rinci
13.2.6 Model Spasial Sederhana
13.3 Penggunaan Sistem Informasi Geografis 545
13.3.1 Tanah dan Penggunaannya
13.3.2 Lingkungan Alam
13.3.3 Energi
13.3.4 Sumber daya manusia
13.3.5 Bidang-bidang Masalah Lingkungan yang Kritis
13.3.6 Air
13.3.7 Sumber daya alam
13.3.8 Pertanian
13.4 Pencegahan Kriminalitas; Penegakan Hukum; Peradilan Pidana 551
13.4.1 Keamanan Dalam Negeri dan Pertahanan Sipil
13.4.2 Komunikasi
13.4.3 Transportasi
13.4.4 Model Ruang-Temporal
13.4.5 Model Berbasis Sel
13.4.6 Pemodelan Berbasis Agen
Contoh 1: Model Hidrologi Berbasis Proses
Contoh 2: LANDIS, Model Stochastic
13.4.7 Elemen Desain LANDIS
13.4.8 Produk Sistem Informasi Geografis
13.4.9 Keseluruhan Persyaratan untuk Peralatan
13.5 Klasifikasi Produk GIS 566
13.5.1 Mendokumentasikan Produk
13.5.2 Pemikiran tentang Berbagai Jenis Produk
13.5.3 Jangan Abaikan Informasi Berbasis Karakter
13.5.4 Jangan Ragu Menyortir Informasi
13.5.5 Pertimbangkan Hard Copy
13.5.6 Pertimbangkan Keseimbangan dalam Konten Produk
13.5.7 Elemen Desain Produk
13.5.8 Unit, Proyeksi, dan Skala
13.5.9 Pemikiran tentang Resolusi dan Skala
13.6 Memastikan Adanya Map Dasar 571
13.6.1 Mengukur Jaminan Kualitas
13.6.2 Pengambil Keputusan - Antarmuka Produk
13.7 Kesimpulan 572
13.8 Soal Latihan 573
13.9 Daftar Pustaka 575

BAB 14 STANDAR DATA DAN KUALITAS DATA 577
14.1 Pendahuluan 577
14.1.1 Model Kompetensi Geospasial
14.1.2 Mengapa Analisis Data Spasial Begitu Sulit?
14.1.3 Bagaimana Komputer Membantu Menganalisis Data Spasial

14.1.4 Kompleksitas Data Spasial
14.1.5 Struktur Data Spasial
14.1.6 Paradigma Penyimpanan untuk Data Areal
14.2 Basis Fundamental Mode Data Geografis 583
14.2.1 Standar Data Spasial
14.2.2 Akurasi Data
14.2.3 Mendokumentasikan Akurasi Data Spasial
14.2.4 Akurasi Posisi
14.2.5 Metode Standar untuk Mengukur Akurasi Posisi
14.2.6 Perhitungan Akurasi
14.2.7 Kesalahan dalam Fitur Linear atau Area
14.2.8 Akurasi Atribut
14.2.9 Kesalahan Propagasi dalam Analisis Spasial
14.3 Kesimpulan 600
14.4 Soal Latihan 600
14.5 Daftar Pustaka 601

BAB 15 PERKEMBANGAN BARU GIS 603
15.1 Pendahuluan 603
15.2 GNSS 603
15.2.1 Pemetaan Tiga Dimensi Tetap dan Seluler
15.3 Modernisasi Datum 608
15.3.1 Penyesuaian Nasional 2011 (NA2011)
15.4 Penginderaan Jauh yang Ditingkatkan 609
15.5 GIS Berbasis Cloud 614
15.6 GIS Terbuka 616
15.6.1 Standar Terbuka untuk GIS
15.6.2 Open Source GIS
15.6.3 Model Hibrida
15.7 Kesimpulan 618
15.8 Soal Latihan 618
15.9 Daftar Pustaka 619

BAB 1
PENGENALAN GIS

1.1 Pendahuluan

Geografi selalu penting bagi manusia. Pemburu zaman batu mengantisipasi lokasi buruan mereka, awal hidup atau mati para penjelajah karena pengetahuan geografi mereka, dan masyarakat saat ini bekerja dan bermain berdasarkan pemahaman mereka tentang siapa yang termasuk di mana. Geografi terapan, dalam bentuk peta dan informasi spasial, telah melayani penemuan, perencanaan, kerjasama, dan konflik setidaknya selama 3000 tahun terakhir. Peta adalah salah satu dokumen peradaban manusia yang paling indah dan berguna.

Pengetahuan geografis kita diterapkan pada tugas-tugas rutin, seperti mencari tahu rute di kota yang tidak dikenal atau mencari restoran terdekat. Informasi spasial memiliki dampak yang lebih besar pada kehidupan kita daripada yang kita sadari dengan membantu kita menghasilkan makanan yang kita makan, energi yang kita bakar, pakaian yang kita kenakan, dan hiburan yang kita nikmati.

Karena informasi spasial sangat penting, kami telah mengembangkan alat yang disebut sistem informasi geografis (GIS) untuk membantu kami dengan pengetahuan geografis. GIS membantu kita mengumpulkan dan menggunakan data spasial. Beberapa komponen GIS murni teknologi; termasuk pengumpul data ruang-usia, jaringan komunikasi canggih, dan komputasi canggih. Komponen GIS lainnya sangat sederhana, misalnya, pensil dan kertas yang digunakan untuk verifikasi lapangan pada peta.

Seperti banyak aspek kehidupan dalam lima dekade terakhir, cara kita mengumpulkan dan menggunakan data spasial telah sangat diubah oleh elektronik modern, dan perangkat lunak serta perangkat keras GIS adalah contoh utama dari perkembangan teknologi ini. Penangkapan dan pengolahan data spasial telah dipercepat selama tiga dekade terakhir, dan terus berkembang.

Kunci dari semua definisi GIS adalah "di mana" dan "apa". GIS dan analisis spasial berkaitan dengan lokasi absolut dan relatif fitur ("di mana"), serta properti dan atribut fitur tersebut ("apa"). Lokasi objek spasial penting seperti sungai dan aliran dapat dicatat, dan juga ukuran, laju aliran, atau kualitas airnya. Memang, atribut-atribut ini seringkali bergantung pada pengaturan spasial dari fitur-fitur penting, seperti penggunaan lahan di atas atau di dekat sungai. GIS membantu dalam analisis dan tampilan hubungan spasial ini.

1.2 Apakah GIS itu?

Definisi umum GIS yang mungkin Anda temukan di kamus:

Sistem informasi geografis adalah kumpulan perangkat keras dan perangkat lunak komputer, orang, uang, dan infrastruktur organisasi yang terorganisir yang memungkinkan perolehan dan penyimpanan data atribut geografis dan terkait, untuk tujuan pengambilan, analisis, sintesis, dan tampilan untuk meningkatkan pemahaman dan membantu pengambilan keputusan.

Jadi GIS adalah alat untuk membuat dan menggunakan informasi spasial. Di antara sekian banyak definisi GIS, kami memilih:

GIS adalah sistem berbasis komputer untuk membantu pengumpulan, pemeliharaan, penyimpanan, analisis, output, dan distribusi data dan informasi spasial.

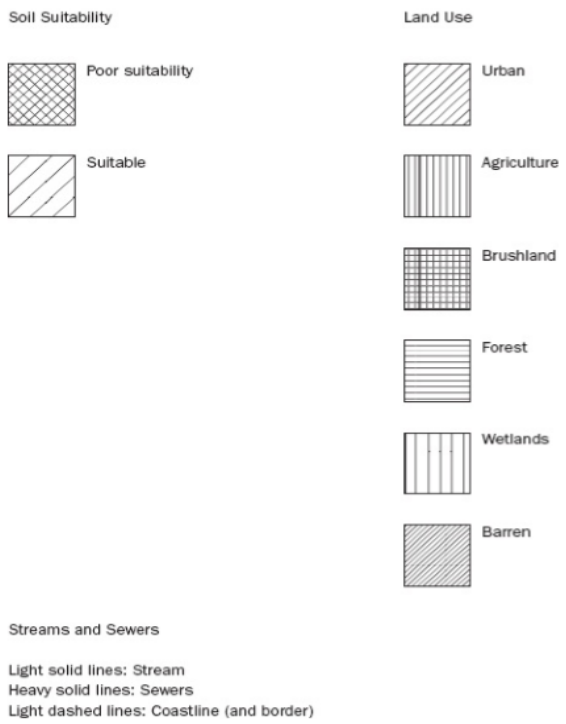
Untuk lebih memahami satu aspek GIS, pertimbangkan bagaimana Anda dapat menggunakan teknologi untuk aplikasi tertentu. Pecahkan masalah pemilihan situs berikut ini:

Latihan 1.1 (Proyek)

Temukan Situs Geografis dengan Cara Manual

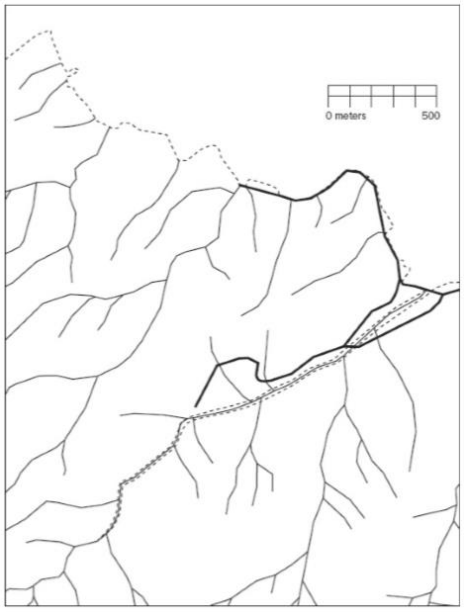
Wildcat Boat Company berencana membangun gedung perkantoran kecil dan fasilitas pengujian untuk mengevaluasi desain baru. Mereka telah mempersempit situs yang diusulkan menjadi area pertanian di dekat danau besar dan beberapa kota kecil. Perusahaan sekarang perlu memilih situs tertentu yang memenuhi persyaratan berikut:

- Lokasi tidak boleh memiliki pohon (untuk mengurangi biaya pembukaan lahan dan mencegah perusakan pohon yang tidak perlu). Sebuah rencana pelestarian pertanian regional melarang konversi lahan pertanian. Kategori lain (perkotaan, tandus, dan lahan basah) juga tidak ada. Jadi, tutupan lahannya harus berupa “lahan semak”.
- Bangunan harus berada di atas tanah yang sesuai untuk konstruksi.
- Peraturan daerah yang dirancang untuk mencegah pembangunan yang merajalela memungkinkan konstruksi baru hanya dalam jarak 300 meter dari saluran pembuangan yang ada.
- Peraturan kualitas air mensyaratkan bahwa tidak ada konstruksi yang terjadi dalam jarak 20 meter dari sungai.
- Situs tersebut harus setidaknya 4000 meter persegi untuk menyediakan ruang untuk bangunan dan pekarangan.
- Gambar dibawah ini adalah kunci dari peta berikut. Ini menunjukkan simbol untuk tutupan lahan, kesesuaian tanah, sungai, dan selokan



Gambar dibawah ini adalah peta yang menunjukkan tutupan lahan di wilayah yang akan dipilih tapak. Simbol garis silang yang berbeda menunjukkan jenis tutupan lahan yang berbeda; area putih di bagian utara peta adalah air. Kode tutupan lahan (Kode LC) dan kategori (Tipe LC) adalah sebagai berikut:

Gambar dibawah ini adalah peta yang menunjukkan aliran sungai (garis sempit) dan selokan (garis lebih luas).



Anda dapat menggunakan gunting, xerografi, program menggambar berbasis komputer, meja lampu, dan alat lainnya untuk menyelesaikan masalah.

Anda diminta untuk menyajikan peta yang menunjukkan semua, ulangi SEMUA, area di mana perusahaan dapat membangun, sambil memenuhi persyaratan yang disebutkan sebelumnya. Buat peta Anda memiliki skala dan ukuran yang sama dengan peta yang disediakan di DVD. Buat garis besar dengan warna merah untuk semua area yang memenuhi persyaratan. Anda

tidak perlu membuat produk kartografi berkualitas tinggi. Tujuan utama di sini — memang tujuan dari buku teks ini — adalah menganalisis data geografis.

Tuliskan deskripsi singkat (100 sampai 200 kata) dari prosedur yang Anda gunakan untuk membuat peta.

Masalahnya jauh lebih mudah daripada yang seharusnya karena peta yang disediakan mencakup area yang persis sama, memiliki asumsi mendasar yang sama mengenai bentuk dan ukuran Bumi, berada pada skala yang sama, dan menggunakan proyeksi bola Bumi yang sama ke permukaan datar. bidang peta. Manfaat ini sering kali tidak tersedia di dunia nyata, di mana Anda sering membutuhkan persiapan data yang cukup banyak untuk memecahkan masalah semacam itu. ArcGIS memiliki banyak alat untuk membantu dalam "menyejajarkan" data geografis. Terlepas dari kelebihan ini, prosesnya bisa agak menakutkan.

Menyelesaikan Latihan 1-1 akan menunjukkan bagaimana GIS dapat membantu Anda memecahkan satu jenis masalah. Masih banyak lagi lainnya. GIS berbasis komputer tidak hanya melayani tujuan peta tradisional tetapi juga membantu Anda melakukan aktivitas yang melibatkan analisis spasial, bahkan tanpa peta. Penting untuk memahami kondisi yang terjadi di sekitar permukaan bumi dalam membangun struktur, menanam tanaman, melestarikan habitat satwa liar, melindungi diri dari bencana alam, menavigasi dari satu titik ke titik berikutnya, dan berbagai aktivitas lainnya.

Di antara banyak kegunaan GIS, diantaranya adalah:

- **Penggunaan lahan** — Membantu menentukan penggunaan lahan, zonasi, analisis dampak lingkungan, analisis lokasi, dan analisis lokasi.
- **Lingkungan alam** — Mengidentifikasi, menggambarkan, dan mengelola area yang menjadi perhatian lingkungan, menganalisis daya dukung lahan, dan membantu dalam mengembangkan pernyataan dampak lingkungan.
- **Energi** — Memeriksa biaya pemindahan energi, menentukan cadangan energi yang tersisa, menyelidiki efisiensi skema alokasi yang berbeda, mengurangi limbah, mengurangi polusi panas, mengidentifikasi area berbahaya bagi manusia dan hewan, menilai dampak lingkungan, menempatkan jalur dan fasilitas distribusi baru, dan mengembangkan skema alokasi sumber daya.
- **Sumber daya manusia** — Rencana untuk angkutan massal, tempat rekreasi, alokasi unit polisi, dan tugas murid; menganalisis pola migrasi, pertumbuhan penduduk, pola kejahatan, dan kebutuhan kesejahteraan. Ia juga mengelola layanan publik dan pemerintah.
- **Bidang lingkungan** — Memfasilitasi identifikasi sumber daya unik, mengelola wilayah yang ditentukan, dan menentukan kepentingan relatif berbagai sumber daya.
- **Air** — Menentukan dataran banjir, ketersediaan air bersih, skema irigasi, dan potensi serta polusi yang ada.
- **Sumber daya alam** — Memfasilitasi pengelolaan kayu, pelestarian lahan pertanian, konservasi sumber daya energi, pengelolaan satwa liar, analisis pasar, alokasi sumber daya, ekstraksi sumber daya, kebijakan sumber daya, daur ulang, dan penggunaan sumber daya.
- **Pertanian** — Bantuan dalam pengelolaan tanaman, perlindungan lahan pertanian, praktik konservasi, dan kebijakan dan pengelolaan lahan pertanian utama.

- **Pencegahan kejahatan, penegakan hukum, peradilan pidana** — Memfasilitasi pemilihan lokasi atau tempat untuk perhatian pengerasan target, pembentukan prosedur berisiko untuk lokasi tertentu, alokasi patroli taktis, pemilihan lokasi untuk analisis pencegahan kejahatan, pengenalan pola kejahatan, dan pemilihan area atau sekolah untuk perhatian pencegahan kenakalan.
- **Keamanan dalam negeri dan pertahanan sipil** — Menilai rencana bantuan bencana alternatif, kebutuhan untuk menimbun makanan dan persediaan medis, rencana evakuasi, dan penunjukan yang tepat untuk area bantuan bencana.
- **Komunikasi** — Memfasilitasi penempatan jalur transmisi, lokasi peralatan seluler, dan pendidikan.
- **Transportasi** — Memfasilitasi rencana transportasi alternatif, analisis lokasi, angkutan massal, dan konservasi energi.

Jika digunakan dengan bijak, GIS dapat membantu kita menjalani kehidupan yang lebih sehat, lebih kaya, dan lebih aman.

GIS dan analisis spasial berkaitan dengan lokasi kuantitatif fitur penting, serta properti dan atribut fitur tersebut. Gunung Everest di Asia, Timbuktu di Mali, dan kapal pesiar Titanic di dasar Samudera Atlantik. GIS mengukur lokasi ini dengan mencatat koordinatnya, angka yang menggambarkan posisi fitur-fitur ini di Bumi. GIS juga dapat digunakan untuk mencatat ketinggian Gunung Everest, populasi Pierre, atau kedalaman Titanic, serta karakteristik penentu lainnya dari setiap fitur spasial.

Setiap pengguna GIS dapat memutuskan fitur apa yang penting, dan atribut apa yang layak dicatat. Misalnya, hutan penting bagi kami. Mereka melindungi persediaan air kita, menghasilkan kayu, menyimpan satwa liar, dan menyediakan ruang untuk berekreas. Kami prihatin tentang tingkat panen, penggunaan lahan yang berdekatan, polusi dari industri terdekat, atau kapan dan di mana hutan terbakar.

Manajemen yang terinformasi membutuhkan setidaknya pengetahuan tentang semua faktor terkait ini, dan, mungkin yang terpenting, pengaturan spasial dari faktor-faktor ini. Jalur buffer di dekat sungai dapat melindungi pasokan air, pembukaan lahan dapat mencegah penyebaran api, dan pencemar melawan angin mungkin tidak merusak hutan kita sementara pencemar melawan angin mungkin. GIS membantu kita menganalisis hubungan dan interaksi spasial ini. GIS juga sangat berguna untuk menampilkan data spasial dan melaporkan hasil analisis spasial. Dalam banyak kasus GIS adalah satu-satunya cara untuk memecahkan masalah yang berhubungan dengan spasial.

1.2.1 GIS: Alat Penting di manapun kita berada

GIS adalah alat penting dalam bisnis, pemerintahan, pendidikan, dan organisasi nirlaba, dan penggunaan GIS telah menjadi wajib di banyak pengaturan. GIS telah digunakan untuk memerangi kejahatan, melindungi spesies yang terancam punah, mengurangi polusi, menanggulangi bencana alam, mengobati epidemi, dan meningkatkan kesehatan masyarakat; Singkatnya, GIS telah berperan penting dalam menangani beberapa masalah sosial yang paling mendesak.

Alat GIS secara keseluruhan menghemat triliunan rupiah setiap tahun dalam pengiriman barang dan jasa pemerintah dan komersial. GIS secara teratur membantu dalam pengelolaan

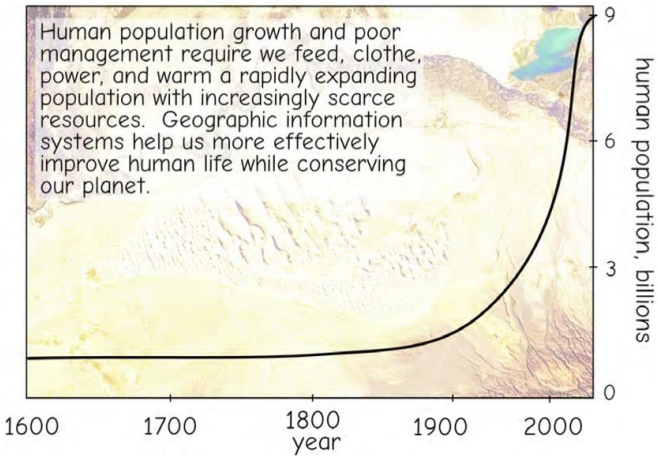
sehari-hari banyak sumber daya alam dan buatan, termasuk saluran pembuangan, air, listrik, dan jaringan transportasi.

1.2.2 Mengapa Kita Membutuhkan GIS?

GIS diperlukan sebagian karena populasi dan konsumsi manusia telah mencapai tingkat sedemikian rupa sehingga banyak sumber daya, termasuk udara dan tanah, membatasi tindakan manusia secara substansial (seperti pada gambar dibawah ini).

GIS memungkinkan kita menganalisis lokasi spasial relatif dari fitur geografis yang penting. *Gambar* satelit di tengah menunjukkan area berhutan di barat Oregon, Amerika Serikat, dengan tambalan danau (area gelap, kiri atas dan kanan tengah), hutan dan pembukaan lahan (tengah), serta pegunungan dan gurun (kanan). Analisis spasial dalam GIS dapat membantu memastikan rekreasi berkelanjutan, pemanenan kayu, perlindungan lingkungan, dan manfaat lain dari ini dan wilayah penting global lainnya (gambar milik NASA).

Populasi manusia telah berlipat ganda dalam 50 tahun terakhir, melebihi 6 miliar, dan kemungkinan besar kita akan menambahkan 4 miliar manusia lagi dalam 50 tahun ke depan. 100.000 tahun pertama keberadaan manusia menyebabkan sedikit dampak pada sumber daya dunia, tetapi dalam 300 tahun terakhir manusia telah mengubah sebagian besar permukaan bumi secara permanen. Suasana dan lautan menunjukkan penurunan kemampuan untuk menyerap karbon dioksida dan nitrogen, dua produk limbah utama umat manusia. Lumpur mencekik banyak sungai dan ada banyak contoh asap, ozon, atau polutan berbahaya lainnya yang secara substansial membahayakan kesehatan masyarakat (Gambar 1.2).



Gambar 1.2 Pertumbuhan populasi manusia selama 400 tahun terakhir telah meningkatkan kebutuhan akan penggunaan sumber daya yang efisien (atas kebaikan Perserikatan Bangsa-bangsa dan Ikonos)

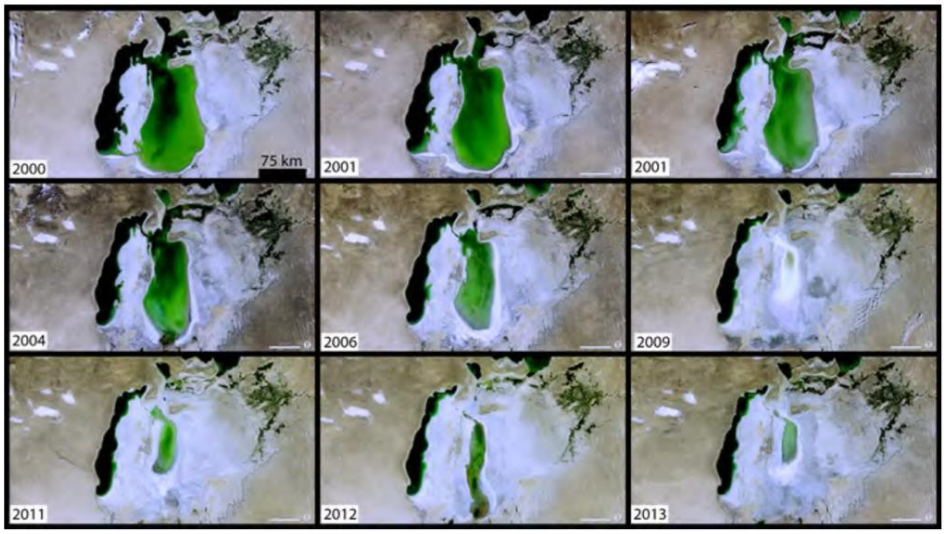
Pada akhir abad ke-20, sebagian besar tanah di selatan kawasan boreal telah ditanami, digembalakan, ditebang, dibangun di atas, dikeringkan, dibanjiri, atau diubah oleh manusia (Gambar 1.3).

GIS membantu kami mengidentifikasi dan menangani masalah lingkungan dengan memberikan informasi penting tentang di mana masalah terjadi dan siapa yang terkena dampaknya. GIS membantu kami mengidentifikasi sumber, lokasi, dan luasnya dampak

lingkungan yang merugikan, dan dapat membantu kami menyusun rencana praktis untuk memantau, mengelola, dan mengurangi kerusakan lingkungan.

Dampak manusia terhadap lingkungan telah mendorong dorongan masyarakat yang kuat untuk mengadopsi GIS. Konflik dalam penggunaan sumber daya, kekhawatiran tentang polusi, dan tindakan pencegahan untuk melindungi kesehatan masyarakat telah mengarah pada mandat legislatif yang secara eksplisit atau implisit membutuhkan pertimbangan ESAGeographic membutuhkan perlindungan yang memadai untuk organisme langka dan terancam. Perlindungan yang efektif mencakup pemetaan habitat yang tersedia dan analisis jangkauan spesies dan pola migrasi. Lokasi sisa populasi tumbuhan dan hewan yang layak relatif terhadap penggunaan lahan oleh manusia saat ini dan di masa depan harus dianalisis, dan tindakan diambil untuk memastikan kelangsungan hidup spesies. GIS telah terbukti menjadi alat yang berguna dalam semua tugas ini. Penggunaan GIS diamanatkan dalam upaya lain, termasuk layanan darurat, perlindungan banjir, penilaian dan pengelolaan bencana dan pembangunan infrastruktur.

Gambar 1.3 Gunung berapi Sarychev, di Kepulauan Kuril Rusia, meletus pada bulan Juni 2009. Pencitraan satelit yang canggih memungkinkan kita untuk melacak letusan dan gumpalan, alat bantu survei berbasis ruang angkasa baru dalam merencanakan evakuasi dan pemetaan kerusakan, dan observasi berulang memungkinkan kami untuk melapisi pengamatan, mengukur dampak, dan merencanakan pemulihan (gambar milik NASA).



Gambar 1.4 Dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh manusia telah meningkat pesat di banyak bagian dunia selama abad yang lalu. *Gambar* satelit dari tahun 2000 (kiri atas) hingga 2013 (kanan bawah) menunjukkan Laut Aral yang menyusut karena penggunaan air yang berlebihan. Pengalihan irigasi telah menghancurkan perikanan yang kaya, basis ekonomi bagi banyak komunitas pantai. GIS dapat digunakan untuk mendokumentasikan perubahan, mengurangi kerusakan, dan secara efektif mengelola sumber daya alam kita (atas kebaikan NASA).

Gambar 1.5: GIS dapat membantu dalam penilaian dan pemulihan bencana. Gambar satelit dari Banda Aceh, Indonesia, menggambarkan kerusakan komunitas garis pantai yang disebabkan oleh tsunami. Tanggap darurat dan upaya pembangunan kembali jangka panjang dapat ditingkatkan dengan pengumpulan dan analisis data spasial (milik DigitalGlobe).

Organisasi publik telah mengadopsi GIS karena mandat legislatif, dan karena bantuan GIS dalam fungsi pemerintahan. Misalnya, kendaraan layanan darurat secara teratur dikirim dan diarahkan menggunakan GIS.

Penelepon dan alamat E911 secara otomatis dikenali dengan nomor telepon. GIS mencocokkan alamat ke stasiun layanan darurat terdekat, rute kemudian segera dibuat berdasarkan jaringan jalan dan lalu lintas, dan kru darurat diberangkatkan dari stasiun terdekat.

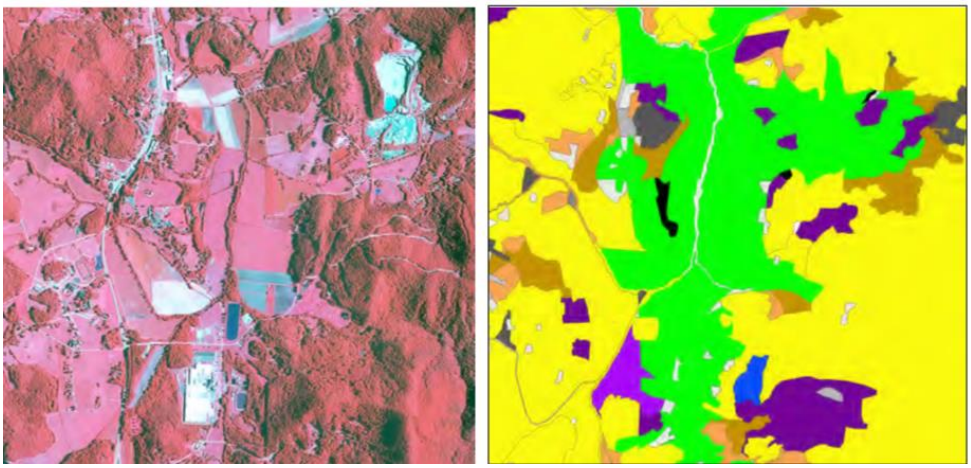
Banyak bisnis mengadopsi GIS untuk meningkatkan efisiensi dalam pengiriman barang dan jasa. Bisnis ritel menemukan toko berdasarkan sejumlah faktor yang terkait secara spasial. Dimana calon konsumen? Bagaimana distribusi spasial dari bisnis yang bersaing? Di mana lokasi toko baru yang potensial? Apa arus lalu lintas di dekat toko saat ini, dan seberapa mudah untuk memarkir di dekat dan mengakses toko ini? GIS juga digunakan dalam ratusan aplikasi bisnis lainnya, untuk merutekan kendaraan pengiriman, memandu periklanan, merancang bangunan, merencanakan konstruksi, dan menjual real estate.

Dorongan masyarakat untuk mengadopsi GIS telah dilengkapi dengan tarikan teknologi dalam pengembangan dan penerapan GIS. Ribuan nyawa dan kekayaan yang tak terhitung telah hilang karena kapten kapal tidak dapat menjawab pertanyaan sederhana, "Di mana saya?" Metode navigasi bahari yang kuat muncul pada abad ke-18, dan terus meningkat hingga hari ini, ketika siapa pun dapat dengan cepat menemukan posisi luar mereka dalam jarak beberapa meter. Teknologi penentuan posisi yang luar biasa, yang secara umum dikenal sebagai Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS), sekarang digabungkan ke dalam mobil, pesawat, kapal, dan truk. GNSS adalah alat yang sangat diperlukan dalam perdagangan, perencanaan, dan keamanan.

Tarikan teknologi telah berkembang di beberapa bidang. Analisis spasial khususnya telah dibantu oleh komputer yang lebih cepat dengan lebih banyak penyimpanan, dan dengan peningkatan interkoneksi melalui WiFi dan jaringan seluler. Sebagian besar masalah spasial dunia nyata berada di luar cakupan semua kecuali pemerintah dan organisasi bisnis terbesar hingga tahun 1990-an. Biaya komputasi GIS menjadi renungan, karena sumber daya komputasi sering kali kurang dari gaji beberapa minggu untuk seorang profesional GIS yang memenuhi syarat. Penurunan biaya dan peningkatan kinerja pada tingkat yang memusingkan, dengan perkiraan dataran tinggi didorong kembali setiap tahun. Komputer lapangan yang bertenaga lebih ringan, lebih cepat, lebih mampu, dan lebih murah, sehingga kemampuan analisis dan tampilan data spasial mungkin selalu tersedia. GIS pada komputer portabel lapangan yang kokoh sangat berguna dalam entri dan pengeditan data lapangan.

Selain peningkatan komputasi dan pengembangan GNSS, "kamera" saat ini menghasilkan gambar udara dan satelit yang sangat mendetail. Awalnya, kemajuan dalam pengumpulan dan interpretasi gambar didorong oleh Perang Dunia II dan kemudian Perang Dingin karena peta yang akurat diperlukan, tetapi tidak tersedia. Beralih ke upaya masa damai, teknologi pencitraan sekarang membantu kita memetakan makanan dan pakan ternak, rumah dan jalan raya, serta sebagian besar objek alam dan buatan manusia lainnya. Gambar dapat dengan cepat diubah menjadi informasi spasial yang akurat di wilayah yang luas. Banyak teknik telah dikembangkan untuk mengekstraksi informasi dari data gambar, dan memastikan informasi ini mewakili lokasi, bentuk, dan karakteristik fitur di lapangan dengan tepat. Pemindai cahaya tampak, laser, termal, dan radar saat ini sedang dikembangkan untuk lebih meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam memetakan dunia kita. Dengan demikian, kemajuan dalam tiga teknologi utama ini - pencitraan, GNSS, dan komputasi - telah secara substansial membantu pengembangan GIS.

Gambar 1.6: Komputasi portabel adalah salah satu contoh teknologi yang mendorong adopsi GIS. (milik Cogent3D, www.GISRoam.com).



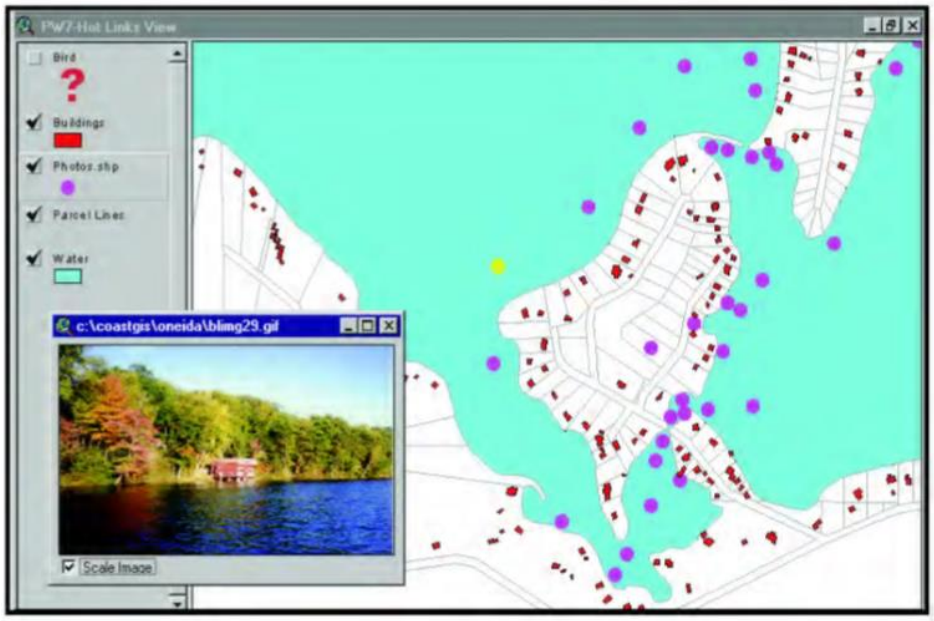
Gambar 1.7: Gambar yang diambil dari pesawat dan satelit (kiri) menyediakan sumber data yang kaya, yang dapat diinterpretasikan dan diubah menjadi informasi tentang permukaan bumi (kanan).

1.2.3 GIS dalam Pemakaian

Organisasi, analisis, dan penyampaian data spasial diterapkan secara luas untuk meningkatkan kehidupan. Di sini kami menjelaskan tiga contoh yang menunjukkan bagaimana GIS digunakan.

Marvin Matsumota diselamatkan dengan bantuan GIS. Pejalan kaki berusia 60 tahun tersesat di Taman Nasional Joshua Tree, lanskap gurun seluas 300.000 hektar yang terkenal dengan medannya yang berbeda dan terjal. Antara enam dan delapan pendaki tersesat di sana pada tahun-tahun biasa, terkadang begitu fatal. Karena bahaya hipotermia, dehidrasi, dan kematian, U.S. National Park Service (NPS) menyelenggarakan operasi pencarian dan penyelamatan yang mencakup patroli jalan kaki, menunggang kuda, kendaraan, dan pencarian helikopter.

Gambar 1.8: Operasi pencarian dan penyelamatan, seperti yang dilakukan untuk Marvin Matsumota (kiri atas, inset) adalah aktivitas spasial. Pencari harus menggabungkan informasi tentang di mana orang yang hilang terakhir kali terlihat, kemungkinan rute perjalanan, peta area yang sudah dicari, waktu pencarian terakhir, dan sumber daya yang tersedia untuk secara efektif melakukan kampanye pencarian (milik Tom Patterson, USNPS).



Gambar 1.9 Informasi parsel yang dimasukkan dalam GIS dapat meningkatkan layanan pemerintah secara substansial. Di sini, gambar garis pantai yang diambil dari sudut pandang danau digabungkan dengan peta digital garis pantai, bangunan, dan batas persil. Gambar di kiri bawah diperoleh dari lokasi yang ditampilkan sebagai titik terang di dekat pusat gambar (atas izin Wisconsin Sea Grant dan LICGF).

Operasi pencarian dan penyelamatan Tn. Matsumota diatur dan dipandu menggunakan GIS. Tim pencari dan penyelamat membawa perangkat pemosisian lapangan yang mencatat lokasi dan kemajuan tim. Data posisi diunduh dari perangkat lapangan ke pusat GIS lapangan, dan peta yang sering diperbarui diproduksi. Manajer insiden di tempat menggunakan peta ini untuk mengevaluasi area yang telah dicari, dan untuk merencanakan upaya selanjutnya secara real time. Peta yang akurat menunjukkan dengan tepat bagian mana dari taman yang telah dicari dan dengan metode apa. Tim yang tepat ditugaskan ke area yang belum dikunjungi. Awak darat dapat ditugaskan ke area yang telah dicari oleh helikopter, tetapi berisi vegetasi atau medan yang membatasi jarak pandang dari atas. Marvin ditemukan pada hari kelima, dalam keadaan hidup tetapi mengalami dehidrasi dan dengan tengkorak yang terluka dan punggung karena terjatuh. Tim pencari dapat mengirimkan lokasi tepatnya melalui radio ke helikopter penyelamat. Hari lain di lapangan dan Marvin kemungkinan besar akan meninggal, hari yang diselamatkan dengan penggunaan GIS yang efektif.

GIS juga banyak digunakan dalam perencanaan dan perlindungan lingkungan. Oneida County terletak di utara Wisconsin, kawasan hutan yang ditandai dengan keindahan pemandangan yang luar biasa. Kabupaten ini berada di wilayah dengan konsentrasi danau air tawar tertinggi di dunia, wilayah yang juga mengalami ekspansi cepat dalam populasi manusia permanen dan musiman. Pensiunan, pengasingan kota, dan wisatawan semakin tertarik pada fasilitas

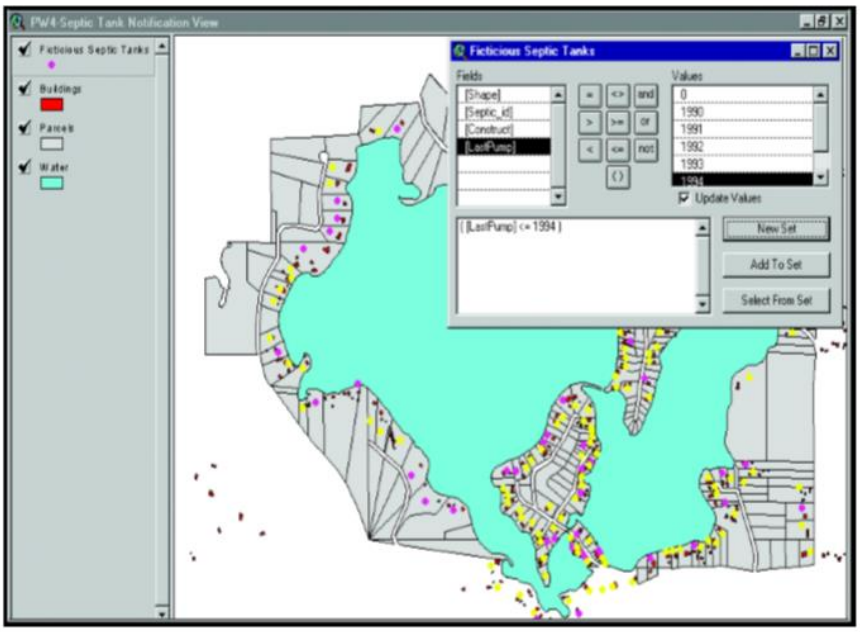
pemandangan dan rekreasi yang tersedia di Oneida County. Populasi wilayah permanen tumbuh hampir 30% dari tahun 1990 hingga 2010, dan gelombang masuk musiman hampir dua kali lipat dari total populasi county setiap musim panas.

Pertumbuhan populasi telah menyebabkan ledakan konstruksi dan mengancam danau yang menarik orang ke daerah tersebut. Semakin banyak izin bangunan untuk rumah dekat pantai, hotel, atau bisnis. Rembesan dari sistem septik, limpasan dari halaman rumput yang dipupuk, atau erosi dan sedimen dari konstruksi semuanya menurunkan kualitas air danau. Peningkatan nutrisi atau sedimen danau dapat menyebabkan air keruh, mengurangi keindahan dan nilai danau serta properti di sekitarnya.

Menanggapi masalah ini, Oneida County, Sea Grant Institute of the University of Wisconsin, dan Land Information and Computer Graphics Facility of the University of Wisconsin telah mengembangkan Proyek GIS Manajemen Shoreland. Proyek ini membantu melindungi sumber daya dekat pantai dan danau yang berharga, dan memberikan contoh bagaimana alat GIS digunakan untuk pengelolaan sumber daya air.

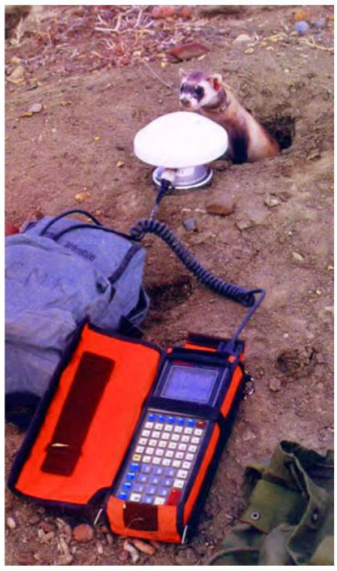
Oneida County telah merevisi zonasi dan peraturan lainnya untuk melindungi kualitas garis pantai dan danau dan untuk memastikan kepatuhan tanpa beban yang tidak semestinya pada pemilik tanah. Kabupaten menggunakan teknologi GIS dalam pemeliharaan catatan properti. Catatan properti mencakup informasi tentang pemilik, nilai pajak, dan pertimbangan zonasi khusus. County menggunakan catatan digital ini saat membuat peta parsel; memproses penjualan, subdivisi, atau transaksi parsel lainnya; dan mengintegrasikan data baru seperti aerial atau boat berdasarkan gambar untuk membantu mendeteksi perubahan properti dan pelanggaran zonasi.

GIS juga dapat digunakan untuk mengatur tata cara zonasi garis pantai, atau untuk memberi tahu pemilik tanah tentang tugas rutin, seperti pemeliharaan sistem septik. Danau utara sangat rentan terhadap pencemaran nutrisi dari sistem septik dekat pantai. Pemeliharaan tepat waktu dari setiap sistem septik harus diverifikasi. GIS dapat secara otomatis mengidentifikasi pemilik yang tidak patuh dan membuat pemberitahuan yang sesuai.



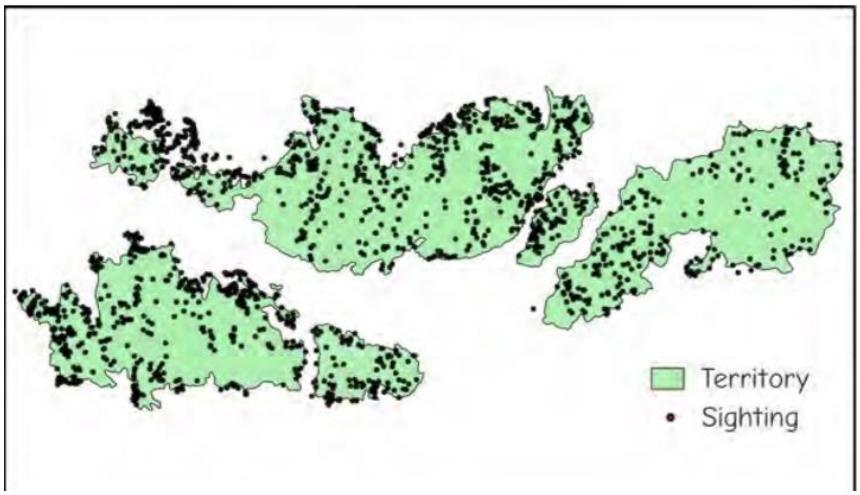
Gambar 1.10 GIS dapat digunakan untuk merampingkan fungsi pemerintah. Di sini, sistem septik yang tidak sesuai dengan peraturan pencegahan polusi diidentifikasi oleh lingkaran putih (atas izin Wisconsin Sea Grant Institute dan LICGF).

Contoh ketiga kami menggambarkan bagaimana GIS membantu menyelamatkan spesies yang terancam punah. Musang kaki hitam adalah karnivora kecil, dan merupakan salah satu mamalia paling terancam punah di benua itu.



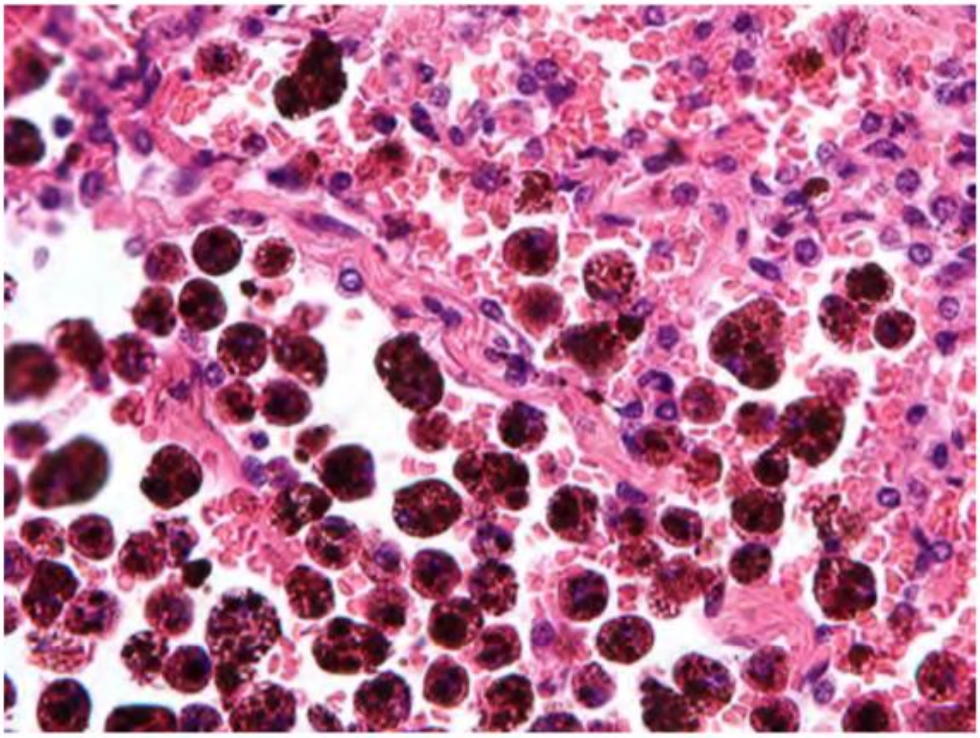
Gambar 1.11: Peralatan khusus digunakan untuk mengumpulkan data spasial. Di sini lokasi liang dicatat dengan menggunakan penerima GPS, seperti yang dilihat oleh musang berkaki hitam yang tertarik (milik Randy Matchett, USFWS).

GIS telah digunakan untuk membantu menyelamatkan musang berkaki hitam. Musang individu dilacak dalam survei sorotan malam hari, sering kali dikombinasikan dengan radiotracking. Lokasi dan pergerakan musang digabungkan dengan data rinci tentang batas koloni anjing padang rumput, lokasi liang, vegetasi di sekitarnya, dan data spasial lainnya. Musang individu dapat diidentifikasi dan karakteristik vital dipantau, termasuk ukuran wilayah jelajah, jarak tempuh yang khas, jumlah keturunan, dan kelangsungan hidup. Data ini digabungkan dan dianalisis dalam GIS untuk meningkatkan kemungkinan pemulihan spesies.



Gambar 1.12 : Peralatan khusus digunakan untuk mengumpulkan data spasial. Di sini lokasi liang dicatat dengan menggunakan penerima GPS, seperti yang dilihat oleh musang berkaki hitam yang tertarik (milik Randy Matchett, USFWS).

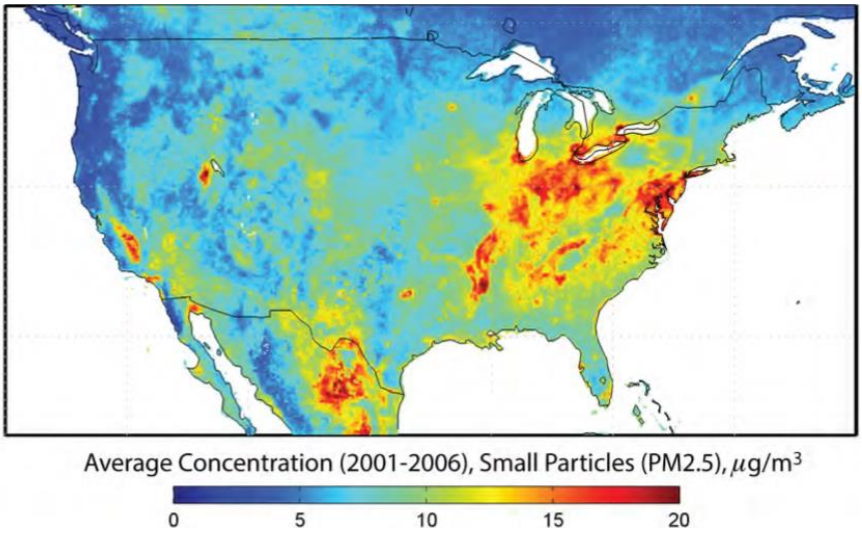
GIS banyak digunakan untuk meningkatkan kesehatan masyarakat. Polusi udara adalah penyebab utama penyakit dan kematian, terutama dari nitrogen dan sulfur dioksida, karbon monoksida, ozon, dan partikel kecil dari pembakaran minyak, gas, batu bara, dan kayu.



Gambar 1.13: Partikel kecil Nested di paru-paru, menyebabkan peradangan dan mengurangi fungsi paru-paru. Makrofag alveolar mencoba mengisolasi bahan ini, tetapi tingkat polusi udara biasanya melebihi kapasitas paru-paru untuk membersihkan dirinya sendiri. Paparan yang berlebihan sering kali terlihat sebagai konsentrasi partikel gelap pada mikrograf paru, seperti yang terlihat di atas. Konsentrasi partikel yang merusak biasanya lebih tinggi di daerah perkotaan, atau di dekat lalu lintas, pembangkit listrik, dan sumber polusi lainnya. Polutan mungkin terkonsentrasi karena cuaca, waktu, dan topografi lokal dan regional. GIS telah digunakan untuk memetakan konsentrasi, mengidentifikasi sumber, dan merencanakan perbaikan (milik Nephron).

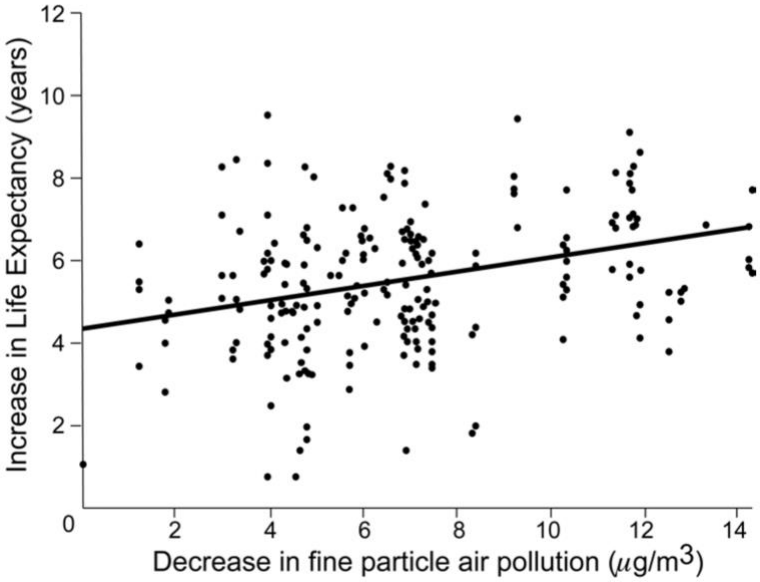
Polusi udara menyebabkan meningkatnya penyakit, rawat inap, dan biaya pengobatan yang setiap tahun mencapai miliaran dolar. Penurunan konsentrasi polusi udara terbukti meningkatkan harapan hidup secara signifikan.

Mengurangi penyakit dan kematian membutuhkan pengidentifikasian area dengan keterpaparan tinggi, terutama untuk populasi yang rentan. Pengelolaan yang efektif membutuhkan perkiraan seberapa besar penurunan polusi akan meningkatkan kesehatan. Para ilmuwan telah memusatkan perhatian pada pertanyaan-pertanyaan ini selama beberapa dekade terakhir, dan dapat memetakan eksposur pada area yang lebih luas dan pada tingkat detail spasial yang semakin meningkat.



Gambar 1.14: Konsentrasi rata-rata (2001-2006)

Polusi udara dapat dipetakan dari satelit, karena bahan kimia dan partikel mengubah sifat optik udara



Gambar 1.15 : Para ilmuwan di NASA telah mengembangkan metode untuk memetakan polusi udara di seluruh benua setiap hari, yang dapat dirata-ratakan untuk memperkirakan paparan kronis (atas). Data spasial ini dapat digabungkan dengan studi tentang respon manusia terhadap polusi udara (bawah) dan lokasi populasi yang rentan untuk meningkatkan kesehatan masyarakat dan mengurangi biaya medis.

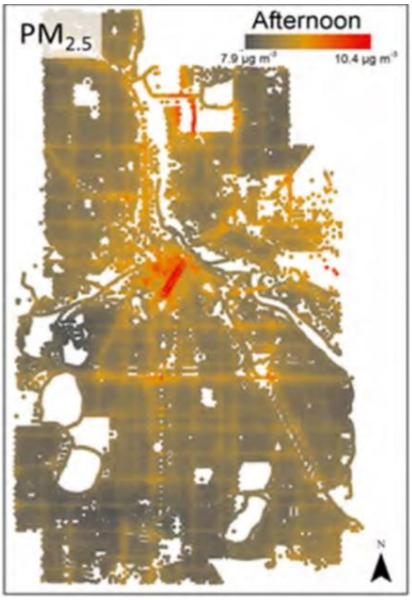
Sejumlah instrumen satelit, yang berpuncak pada Ozone Mapping and Profiling Suite (OMPS) telah diluncurkan selama 30 tahun terakhir untuk merekam kualitas udara. Rekayasa yang telaten, pengujian, dan perbandingan dengan pengukuran di darat dan udara telah memverifikasi keakuratan instrumen. Hal ini telah menghasilkan catatan konsentrasi polutan dalam jangka panjang, dan pemahaman yang lebih baik tentang sumber dan dinamika polutan di seluruh wilayah melalui geografi global. Data ini memungkinkan pengukuran puncak dan keterpaparan kronis terhadap polutan untuk populasi yang berbeda. Mereka menunjukkan

area eksposur tinggi yang persisten, beberapa terkonsentrasi di kota-kota, sebagian besar karena lalu lintas mobil, dan lainnya di area yang luas, misalnya, Midwest, karena pembangkit listrik tenaga batu bara yang besar dan sumber industri. Beberapa daerah sangat rentan terhadap konsentrasi tinggi karena dataran tinggi di sekitarnya, misalnya Central Valley of California atau Salt Lake City, Utah.

Gambar 1.16: Sampel handuk membantu mengukur polusi udara untuk jalan individu, pada berbagai kepadatan dan jenis lalu lintas (milik J. Marshall).

Pekerjaan para ilmuwan kesehatan telah mengidentifikasi dampak spesifik dari polusi udara dengan menganalisis respons dalam populasi target. Peningkatan tingkat asma, kerusakan paru-paru, dan kematian yang diamati dalam studi yang lebih kecil atau kota tertentu dapat diperluas ke wilayah yang lebih luas melalui kombinasi data di GIS. Misalnya, menggabungkan data kesehatan dan populasi dengan catatan paparan satelit telah membantu memperkirakan peningkatan harapan hidup dengan penurunan polusi udara. Legislasi yang disahkan pada tahun 1970-an menghasilkan peningkatan kualitas udara yang terukur. Kemajuan bervariasi di seluruh negeri, dengan beberapa populasi mengalami penurunan yang lebih besar. Para ilmuwan mengukur penurunan tingkat kematian pada populasi yang sebanding, dan memperkirakan peningkatan rata-rata 2 tahun dalam rentang hidup untuk setiap pengurangan paparan sebesar 10 μgm^{-3}.

Pekerjaan tambahan difokuskan pada polusi udara pada detail geografis yang lebih luas, sebagian untuk mengukur dan mengelola paparan dan risiko individu dengan lebih baik. Dr. Julian Marshall dan kolaborator di Universitas Minnesota telah mengembangkan sistem untuk mengambil sampel konsentrasi polutan pada interval spasial yang sangat halus, menarik sistem pengambilan sampel udara di belakang sepeda melalui berbagai kepadatan lalu lintas, jenis jalan, dan lingkungan.



Gambar 1.17 : Perkiraan spasial yang sangat rinci dari polutan udara partikulat (milik J. Marshall).

Penentuan posisi satelit disinkronkan dengan sampel video dan udara, dan ini digabungkan dengan data spasial pada jaringan jalan, kepadatan penduduk, penggunaan lahan, dan faktor lainnya. Model statistik kemudian dikembangkan. Hal ini memungkinkan estimasi rinci konsentrasi polutan, bahkan hingga ke jalan individu. Perkiraan tersebut pada gilirannya dapat membantu mengurangi polusi udara, merencanakan koridor sepeda atau pejalan kaki, memisahkan muatan polutan karena mobil vs. truk, bus atau kendaraan besar lainnya, dan mengelola lalu lintas atau infrastruktur untuk mengurangi paparan manusia.

1.3 Komponen GIS

SIG terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data, manusia, dan seperangkat protokol organisasi. Komponen ini harus terintegrasi dengan baik untuk penggunaan GIS yang efektif, dan pengembangan dan integrasi komponen ini adalah proses yang berulang dan berkelanjutan. Pemilihan dan pembelian perangkat keras dan perangkat lunak seringkali merupakan langkah yang termudah dan tercepat dalam pengembangan GIS. Pengumpulan data dan organisasi, pengembangan personel, dan pembuatan protokol untuk penggunaan GIS seringkali lebih sulit, memakan waktu dan membutuhkan usaha keras.

1.3.1 Hardware/Perangkat keras untuk GIS

Komputer yang cepat, kapasitas penyimpanan data yang besar, dan layar besar berkualitas tinggi merupakan fondasi perangkat keras dari sebagian besar GIS. Komputer cepat diperlukan karena analisis spasial sering diterapkan di area yang luas dan / atau pada resolusi spasial yang tinggi. Penghitungan sering kali harus diulangi lebih dari puluhan juta kali, sesuai dengan setiap ruang yang kami analisis dalam analisis geografis kami. Bahkan operasi sederhana dapat memakan waktu yang cukup lama pada komputer tujuan umum ketika dijalankan pada area yang luas, dan operasi yang kompleks dapat berjalan sangat lama.

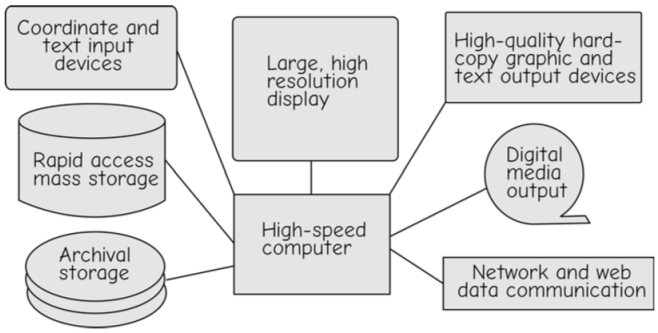
Sementara kemajuan dalam teknologi komputasi selama beberapa dekade terakhir telah secara substansial mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk sebagian besar analisis spasial,

waktu komputasi masih sangat lama untuk beberapa aplikasi. Sementara sebagian besar komputer dan perangkat keras lain yang digunakan dalam GIS bersifat umum dan dapat disesuaikan untuk berbagai tugas, ada juga komponen perangkat keras khusus yang dirancang khusus untuk digunakan dengan data spasial. GIS membutuhkan volume data yang besar yang harus dimasukkan untuk menentukan bentuk dan lokasi fitur geografis, seperti jalan, sungai, dan persil.

1.3.2 Software GIS

Software GIS menyediakan alat untuk mengelola, menganalisis, dan secara efektif menampilkan dan menyebarkan informasi spasial. GIS menurut kebutuhan melibatkan pengumpulan dan manipulasi koordinat. Kami juga harus mengumpulkan informasi kualitatif atau kuantitatif pada atribut nonspatial fitur geografis. Kami membutuhkan alat untuk melihat dan mengedit data ini, memanipulasinya untuk menghasilkan dan mengekstrak informasi yang kami butuhkan, dan menghasilkan materi untuk mengkomunikasikan informasi yang telah kami kembangkan. Perangkat lunak GIS menyediakan alat khusus untuk beberapa atau semua tugas ini.

Ada banyak domain publik dan paket perangkat lunak GIS yang tersedia secara komersial, dan banyak dari paket ini berasal dari laboratorium penelitian akademis atau yang didanai pemerintah. Lini produk Environmental Systems Research Institute (ESRI), termasuk ArcGIS, adalah contoh yang baik. Banyak fondasi untuk perangkat lunak ESRI awal dikembangkan selama 1960-an dan 1970-an di Universitas Harvard di Laboratorium Grafik Komputer dan Analisis Spasial. Alumni dari Harvard membawa konsep ini bersama mereka ke Redlands, California, saat membentuk ESRI, dan memasukkannya ke dalam produk komersial mereka.



1.4 Konsorsium Geospasial

Kami akan membahas secara singkat perangkat lunak GIS yang paling umum, tetapi pertama-tama kami ingin memperkenalkan Open Geospatial Consortium (OGC). Upaya mereka telah memudahkan berbagi di berbagai perangkat lunak GIS dan sistem operasi komputer. Standar untuk format data, dokumentasi, interaksi program, dan transmisi telah dikembangkan dan dipublikasikan (www.openspatial.org) dan daftar perangkat lunak yang memenuhi standar telah disusun. Sementara beberapa struktur data tetap tidak jelas atau eksklusif, sebagian besar telah menjadi terbuka, dan standar umum memudahkan adopsi komunitas, mengurangi hambatan untuk beralih antar perangkat lunak, atau mengadopsi beberapa paket pemrosesan geospasial. Kepatuhan terhadap standar merupakan nilai tambah dari sudut pandang pengguna, jadi tinjauan cepat dari daftar yang sesuai dengan OGC disarankan saat memilih platform perangkat lunak.

Deskripsi perangkat lunak kami mencakup paket perangkat lunak yang paling banyak digunakan, tetapi tidak termasuk semua. Ada banyak alat dan paket perangkat lunak tambahan yang tersedia, terutama untuk tugas-tugas khusus atau bidang subjek.

Data Entry :

- Tangkapan koordinat manual
- Tangkapan atribut
- Tangkapan Koordinat digital
- Impor data

Editing :

- Editing fitur : titik manual, daris dan area
- Editing atribut manual
- Editing dan deteksi Error otomatis

Manajemen Data :

- Copy, subset, data merge
- Pemversian
- Proyeksi dan Registrasi data
- Peringkasan, dan pengurangan data
- Dokumentasi
- Kompresi
- Pengindeksan

Analisis :

- Kueri spasial
- Kueri atribut
- Interpolasi
- Konektivitas
- Proksimitas
- Buffering
- Analisis terrain
- Boundary dissolve
- Overlay data spasial
- Window moving analysis
- Map Algebra

Output :

- Layout dan desain Map
- Cetak Map Hadrcopy
- Produksi Grafis Digital
- Generasi format export
- Output Metadata
- Penyajian Map digital

1.4.1 ArcGIS

ArcGIS, dalam berbagai versi online, desktop, dan servernya, terdiri dari rangkaian perangkat lunak GIS yang paling populer pada saat penulisan ini. ESRI, pengembang ArcGIS, hadir di seluruh dunia. ESRI telah memproduksi perangkat lunak GIS sejak awal 1980-an, dan ArcGIS adalah paket GIS terintegrasi yang terbaru dan berkembang dengan baik. Selain perangkat lunak, ESRI juga menyediakan pelatihan substansial, dukungan, dan layanan konsultasi di kantor regional dan internasional.

ArcGIS dirancang untuk menyediakan serangkaian besar prosedur geoprocessing, mulai dari entri data hingga analisis hingga sebagian besar bentuk output data. Dengan demikian, ArcGIS adalah produk yang besar, kompleks, dan canggih. Ini mendukung berbagai format data, banyak tipe dan struktur data, dan secara harfiah ribuan kemungkinan operasi yang dapat diterapkan pada data spasial. Tidaklah mengherankan bahwa diperlukan pelatihan substansial untuk menguasai seluruh kemampuan

ArcGIS memberikan fleksibilitas yang luas dalam cara kami membuat konsep dan memodelkan fitur geografis. Ahli geografi dan ilmuwan terkait GIS lainnya telah memahami banyak cara untuk memikirkan, menyusun, dan menyimpan informasi tentang objek spasial. ArcGIS menyediakan pilihan representasi yang paling luas yang tersedia. Misalnya, data elevasi dapat disimpan setidaknya dalam empat format utama, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangan. Ada fleksibilitas yang sama dalam metode pemrosesan data spasial. Pilihan yang luas ini, sementara bertanggung jawab atas investasi besar dalam waktu yang diperlukan untuk penguasaan ArcGIS, memberikan kekuatan analitis yang substansial secara bersamaan.

1.5 Software ArcGIS yang Khusus

ArcGIS adalah GIS terintegrasi yang terdiri dari berbagai bagian utama. Kita dapat bekerja dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS Desktop, yang merupakan rangkaian aplikasi GIS tingkat lanjut yang terintegrasi. Esri juga memiliki antarmuka untuk mengelola Database dalam sistem manajemen Database (DBMS/database management system). Juga ada GIS berbasis Internet untuk mendistribusikan data dan layanan spasial. Esri juga memiliki ekstensi perangkat lunak seperti ArcPad, yang menyediakan GIS untuk ukuran tablet komputer atau palmtop.

ArcGIS disebut produk yang dapat diskalakan karena memungkinkan penerapan GIS dengan berbagai "ukuran". Seorang pengguna dapat memilih agar hanya sistem yang berjalan pada satu komputer — GIS pribadi — yang memungkinkan tampilan dan pemilihan sederhana data spasial tanpa bisa mengedit atau menganalisis data tersebut secara ekstensif. Di ujung skala, GIS multipengguna dapat melayani seluruh perusahaan atau lembaga pemerintah. GIS perusahaan ini memungkinkan semua kemampuan perangkat lunak. Opsi ini juga mencakup sistem fungsionalitas menengah yang dikenal sebagai GIS kelompok kerja dan GIS departemen.

Untuk banyak produk, harga yang dikenakan bergantung pada fitur dan utilitas yang disediakan produk. Ketika satu pabrikan memproduksi banyak produk yang berbeda, pengguna harus belajar bagaimana menggabungkan dan mengemasnya untuk memberikan tingkat utilitas yang diperlukan (contoh sederhana: Anda tidak memerlukan bus sekolah jika sedan dapat melakukannya). Ini juga berlaku untuk produk Esri.

1.5.1 QGIS

QGIS adalah proyek perangkat lunak sumber terbuka, sebuah inisiatif di bawah Yayasan Geospasial Sumber Terbuka. Perangkat lunak ini merupakan upaya kolaboratif oleh komunitas pengembang dan pengguna. QGIS gratis, stabil, berubah dengan lancar sepanjang waktu, dengan kode sumber yang tersedia sehingga dapat diperpanjang sesuai kebutuhan untuk tugas-tugas tertentu. Ini menyediakan antarmuka pengguna grafis, mendukung berbagai jenis dan format data, dan berjalan pada sistem operasi Unix, MacOSX, dan Microsoft Windows. Seperti kebanyakan perangkat lunak sumber terbuka, penawaran asli memiliki kemampuan terbatas, tetapi dengan rata-rata sekitar dua pembaruan setahun sejak 2002, QGIS menyediakan sejumlah besar tampilan GIS dasar dan fungsi analisis. Antarmuka telah dikembangkan dengan GRASS, GIS open-source lain dengan fungsi analitik pelengkap, tetapi tidak memiliki antarmuka pengguna grafis yang sederhana.

1.5.2 GeoMedia

GeoMedia dan produk terkait adalah rangkaian GIS populer yang awalnya dikembangkan dan didukung oleh Intergraph, Incorporated. GeoMedia menawarkan seperangkat alat entri data, analisis, dan output yang lengkap. Seperangkat alat pengeditan yang komprehensif dapat dibeli, termasuk alat untuk entri data otomatis dan deteksi kesalahan, pengembangan data, penggabungan data, analisis kompleks, dan tampilan data yang canggih serta komposisi peta. Bahasa skrip tersedia, seperti juga alat pemrograman yang memungkinkan fitur tertentu untuk disematkan dalam program kustom, dan pustaka pemrograman untuk memungkinkan modifikasi algoritma GeoMedia untuk perangkat lunak tujuan khusus.

GeoMedia sangat mahir dalam mengintegrasikan data dari sumber, format, dan platform yang berbeda. Intergraph tampaknya telah mendedikasikan upaya substansial terhadap inisiatif OpenGIS, serangkaian standar untuk memfasilitasi berbagi data lintas platform dan lintas perangkat lunak. Data dalam salah satu database komersial umum dapat diintegrasikan dengan data spasial dari berbagai format. Data gambar, koordinat, dan teks dapat digabungkan.

GeoMedia juga menyediakan seperangkat alat yang lengkap untuk analisis GIS. Analisis spasial yang kompleks dapat dilakukan, termasuk kueri, misalnya, untuk menemukan fitur dalam database yang cocok dengan sekumpulan kondisi, dan analisis spasial seperti kedekatan atau tumpang tindih antar fitur. Aplikasi World Wide Web dan ponsel didukung dengan baik.

1.5.3 MapInfo

MapInfo adalah satu set lengkap produk GIS yang dikembangkan oleh MapInfo Corporation, tetapi sekarang menjadi bagian dari Pitney Bowes. Produk MapInfo digunakan dalam beragam upaya, meskipun penggunaan tampaknya terkonsentrasi di banyak aplikasi bisnis dan kota. Ini mungkin karena kemudahan komponen MapInfo dimasukkan ke dalam aplikasi lain. Analisis data dan komponen tampilan didukung melalui berbagai fungsi bahasa yang lebih tinggi, memungkinkan mereka untuk dengan mudah disematkan di program lain. Selain itu, MapInfo menyediakan produk GIS yang berdiri sendiri dan fleksibel yang dapat digunakan untuk memecahkan banyak masalah analisis spasial.

Produk khusus telah dirancang untuk integrasi pemetaan ke dalam berbagai kelas aplikasi. Misalnya, produk MapInfo telah dikembangkan untuk menyematkan peta dan data spasial ke dalam perangkat genggam nirkabel seperti telepon, pencatat data, atau perangkat portabel

lainnya. Produk telah dikembangkan untuk mendukung aplikasi pemetaan internet, dan menyajikan data spasial di lingkungan berbasis World Wide Web. Ekstensi untuk produk database tertentu seperti Oracle disediakan.

1.5.4 Idrisi

Idrisi adalah sistem GIS yang dikembangkan oleh Sekolah Pascasarjana Geografi Universitas Clark, di Massachusetts. Idrisi berbeda dari paket perangkat lunak GIS yang telah dibahas sebelumnya karena menyediakan fungsi pemrosesan gambar dan GIS. Data *gambar* berguna sebagai sumber informasi dalam SIG. Ada banyak paket perangkat lunak khusus yang dirancang khusus untuk berfokus pada pengumpulan, manipulasi, dan output data gambar.

Idrisi menawarkan sebagian besar fungsi ini sambil juga menyediakan rangkaian besar analisis data spasial dan fungsi tampilan. Idrisi telah dikembangkan dan dipertahankan di sebuah lembaga pendidikan dan penelitian, dan pada awalnya digunakan terutama sebagai alat pengajaran dan penelitian. Idrisi telah mengadopsi sejumlah struktur data yang sangat sederhana, suatu karakteristik yang membuat perangkat lunak mudah dimodifikasi. Beberapa dari struktur ini, meskipun lambat dan membutuhkan lebih banyak spasi, mudah dipahami dan dimanipulasi untuk pemrogram pemula. Batasan ruang dan kecepatan menjadi kurang relevan dengan komputer yang ditingkatkan. Format file didokumentasikan dengan baik dan datanya mudah diakses. Pengembang Idrisi secara tegas mendorong peneliti, mahasiswa, dan pengguna untuk membuat fungsi baru untuk Idrisi. Proyek Idrisi kemudian memasukkan peningkatan yang dikembangkan pengguna ke dalam paket perangkat lunak. Idrisi adalah paket yang ideal untuk mengajar siswa menggunakan GIS dan mengembangkan fungsi analisis spasial mereka sendiri.

Biaya Idrisi relatif rendah, mungkin karena berafiliasi dengan lembaga akademis, dan oleh karena itu banyak digunakan dalam pendidikan. Biaya rendah merupakan faktor penting di banyak negara berkembang, di mana Idrisi juga diadopsi secara luas.

1.5.5 Manifold

Manifold adalah paket GIS yang relatif murah dengan sejumlah kemampuan yang mengejutkan. Manifold menggabungkan GIS dan beberapa kemampuan penginderaan jauh. Masukan data spasial dasar dan dukungan pengeditan disediakan, serta proyeksi, vektor dasar dan analisis raster, tampilan dan pengeditan gambar, dan output. Program ini dapat dikembangkan melalui serangkaian modul perangkat lunak. Modul tersedia untuk analisis permukaan, aplikasi bisnis, pengembangan dan penyajian peta Internet, dukungan database, dan analisis lanjutan.

GIS berjenis berbeda dari paket lain dalam menyediakan kemampuan pengeditan gambar yang canggih dalam kerangka kerja referensi spasial. Sebagian gambar dan peta dapat dipotong dan ditempelkan ke peta lain dengan tetap mempertahankan kesejajaran geografis yang tepat. Transparansi, pemilihan berbasis warna, dan kemampuan lain yang umum untuk program pengeditan gambar termasuk dalam GIS berjenis.

1.5.6 Maptitude

Maptitude adalah produk GIS yang difokuskan terutama pada analisis spasial dalam lingkungan bisnis. Alat mendukung identifikasi pasar melalui integrasi data pendapatan,

demografis, dan penjualan, alokasi dan lokasi penyimpanan melalui analisis transportasi, dan perencanaan logistik. Model analitik disediakan untuk industri tertentu, misalnya, perbankan, asuransi, perawatan kesehatan, dan real estat, dan alat yang disertakan untuk pemetaan waralaba, redistricting, dan alokasi wilayah penjualan, di antara banyak fungsi bisnis lainnya.

Maptitude juga menyediakan utilitas untuk mengintegrasikan berbagai data yang tersedia secara luas, termasuk sensus, kesehatan, dan infrastruktur, dan untuk ekspor data berbasis server dan Web, pembuatan peta, dan tampilan. Mereka hadir dan mendapat dukungan di banyak negara, dan serangkaian sumber daya pelatihan yang komprehensif.

1.5.7 AutoCAD MAP 3D

AutoCAD adalah paket rancangan dan desain komputer terlaris di dunia. Diproduksi oleh Autodesk, Inc., dari San Rafael, California, AutoCAD dimulai sebagai alat menggambar dan mencetak teknik. Berbagai disiplin ilmu teknik didukung, termasuk survei dan teknik sipil. Surveyor secara tradisional mengembangkan dan memelihara koordinat batas properti, dan ini adalah salah satu data spasial yang paling penting dan sering digunakan. AutoCAD MAP 3D menambahkan kemampuan analitik substansial ke set input data yang sudah lengkap, manipulasi koordinat, dan alat output data yang disediakan oleh AutoCAD.

Versi terbaru, AutoCAD MAP 3D, menyediakan satu set kemampuan analisis data spasial yang substansial. Data dapat dimasukkan, diverifikasi, dan dikeluarkan. Data juga dapat dicari untuk fitur dengan kondisi atau karakteristik tertentu. Analisis spasial yang lebih canggih dapat dilakukan, termasuk pencarian jalur atau kombinasi data. AutoCAD MAP 3D menggabungkan banyak kemampuan analisis khusus dari paket GIS lama lainnya, dan merupakan contoh yang baik dari konvergensi perangkat lunak GIS dari sejumlah disiplin ilmu.

1.5.8 GRASS

GRASS, Sistem Pendukung Analisis Sumber Daya Geografis, adalah GIS sumber terbuka gratis yang berjalan di banyak platform. Sistem ini awalnya dikembangkan oleh U.S. Army Construction Engineering Laboratory (CERL), dimulai pada awal 1980-an, ketika banyak perangkat lunak GIS yang akses dan aplikasinya terbatas. CERL mengikuti pendekatan terbuka untuk pengembangan dan distribusi, yang menghasilkan kontribusi substansial dari sejumlah universitas dan laboratorium pemerintah lainnya. Pengembangan dihentikan di militer, dan diambil alih oleh "GRASS Development Team" open-source, sekelompok orang yang mengidentifikasi dirinya sendiri menyumbangkan waktu mereka untuk memelihara dan meningkatkan GRASS. Perangkat lunak ini menyediakan beragam operasi raster dan vektor, dan digunakan dalam penelitian dan aplikasi di seluruh dunia. Informasi lengkap dan perangkat lunak yang dapat diunduh tersedia di http://grass.itc.it/index.php.

1.5.9 MicroImages

MicroImages memproduksi TNTmips, paket perangkat lunak penginderaan jauh terintegrasi, GIS, dan CAD. MicroImages juga memproduksi dan mendukung berbagai produk terkait lainnya, termasuk perangkat lunak untuk mengedit dan melihat data spasial, perangkat lunak untuk membuat atlas digital, dan perangkat lunak untuk menerbitkan dan menyajikan data di internet.

TNTmips terkenal karena peralatannya yang luas dan ragam platform perangkat keras yang didukung dengan cara yang seragam. MicroImages mengompilasi ulang sekumpulan kode dasar untuk setiap platform sehingga tampilan, nuansa, dan fungsionalitas hampir identik terlepas dari platform perangkat keras yang digunakan. Pemrosesan citra, analisis data spasial, dan citra, peta, dan output data didukung secara seragam di seluruh rentang ini.

TNTmips menyediakan rangkaian alat pengembangan dan analisis data spasial yang mengesankan. Alat pemrosesan gambar umum tersedia, termasuk penyerapan berbagai format, pendaftaran gambar dan mosaik, proyeksi ulang, penghapusan kesalahan, subset, kombinasi, dan klasifikasi gambar. Analisis vektor dan raster didukung, termasuk kombinasi multi-layer, jarak pandang, proximity, dan analisis jaringan. Dokumentasi online yang luas tersedia, dan perangkat lunak ini didukung oleh jaringan dealer internasional.

1.5.10 ERDAS

ERDAS (Sistem Analisis Data Sumber Daya Bumi), sekarang dimiliki dan dikembangkan oleh Hexagon Geospatial, sebuah divisi dari Intergraph, dimulai sebagai sistem pemrosesan gambar. Tujuan awal dari perangkat lunak ini adalah untuk memasukkan dan menganalisis data *gambar* satelit. ERDAS memimpin gelombang produk komersial untuk menganalisis data spasial yang dikumpulkan di area yang luas. Pengembangan produk didorong oleh keberhasilan peluncuran satelit Landsat AS pada tahun 1970-an. Untuk pertama kalinya, gambar digital dari seluruh permukaan bumi tersedia untuk umum.

Perangkat lunak pengolah *gambar* ERDAS berevolusi untuk memasukkan jenis *gambar* lain, dan memasukkan seperangkat alat yang komprehensif untuk analisis data berbasis sel. Data gambar disediakan dalam format berbasis sel. Untuk saat ini, penting untuk diperhatikan bahwa format "papan catur" yang digunakan untuk data gambar juga dapat digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi data spasial lainnya. Relatif mudah dan cukup berguna untuk mengembangkan alat analisis spasial berbasis sel untuk melengkapi alat pemrosesan gambar.

ERDAS dan sebagian besar paket pemrosesan gambar lainnya menyediakan format output data yang kompatibel dengan sebagian besar paket GIS umum. Banyak sistem perangkat lunak pengolah gambar yang dibeli secara eksplisit untuk menyediakan data untuk GIS. Dukungan format data ESRI sangat menyeluruh dalam ERDAS. Komponen ERDAS GIS dapat digunakan untuk menganalisis data spasial tersebut.

1.5.11 BentleyMap

Bentley Systems telah mengembangkan perangkat lunak analisis spasial untuk perangkat seluler melalui tingkat perusahaan, dengan fokus yang kuat pada desain dan pengembangan infrastruktur yang fleksibel dan terintegrasi. Meskipun asalnya adalah program perancangan dan desain yang dibantu komputer, Bentley telah berkembang menjadi seperangkat alat umum, termasuk pengumpulan data lapangan, fotogrametri, komposisi peta yang canggih, manajemen database, analisis, dan pelaporan.

Produk Bentley secara khusus berfokus pada lingkungan binaan, termasuk jalan, gedung, utilitas, dan desain, perencanaan, dan manajemen konstruksi besar lainnya. Alat termasuk rangkaian komprehensif untuk catatan properti, termasuk survei manajemen data persil, analisis medan dan perhitungan untuk penggalian dan pekerjaan tanah, analisis limpasan curah hujan dan desain drainase, tata letak jalan dan utilitas, dan tampilan 3D dari alternatif

desain. Bentley juga mendukung alat khusus industri, termasuk pertambangan dan sistem serta jaringan pembangkit listrik.

1.5.12 Smallworld

Smallworld, yang saat ini dimiliki oleh General Electric Energy, adalah rangkaian produk yang berfokus terutama pada manajemen daya dan utilitas lainnya, serta sistem jaringan lainnya. Terutama ditargetkan untuk organisasi besar, suite ini mendukung format data spasial umum, entri data lapangan, model jaringan topologi yang kompleks, integrasi dengan database perusahaan, desain komponen dan jaringan, serta grafik dan output untuk mendukung karakteristik jaringan statis dan dinamis.

Review perangkat lunak pengumpulan dan analisis data spasial ini sama sekali tidak lengkap. Ada banyak perangkat lunak lain yang tersedia, banyak di antaranya menyediakan kombinasi fungsi geoprocessing yang unik, baru, atau sangat pintar. ILWIS, MapWindow, PCI, dan ENVI hanyalah beberapa dari paket perangkat lunak yang tersedia dengan kemampuan pengembangan atau analisis data spasial. Selain itu, ada ribuan add-on, alat tujuan khusus, atau modul khusus yang melengkapi produk ini. Situs web yang tercantum dalam Lampiran B di akhir buku ini akan memberikan informasi lebih lanjut tentang ini dan produk perangkat lunak GIS lainnya.

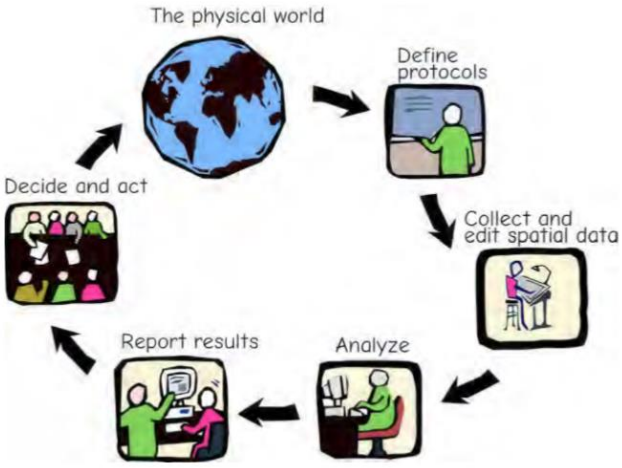
1.6 GIS dalam Organisasi

Meskipun pengguna baru sering fokus pada komponen perangkat keras dan perangkat lunak GIS, kita harus menyadari bahwa GIS ada dalam konteks kelembagaan. Penggunaan GIS yang efektif membutuhkan organisasi untuk mendukung berbagai aktivitas GIS. Kebanyakan GIS juga membutuhkan orang terlatih untuk menggunakannya, dan seperangkat protokol yang memandu bagaimana GIS akan digunakan. Konteks kelembagaan menentukan data spasial apa yang penting, bagaimana data ini akan dikumpulkan dan digunakan, dan memastikan bahwa hasil analisis GIS diinterpretasikan dan diterapkan dengan benar. GIS memiliki karakteristik umum dari banyak teknologi canggih. Jika tidak digunakan dengan benar, teknologi tersebut dapat menyebabkan pemborosan sumber daya yang signifikan, dan dapat menyebabkan lebih banyak kerugian daripada kebaikan. Sumber daya kelembagaan yang tepat diperlukan agar GIS dapat memberikan semua potensi manfaatnya.

GIS sering digunakan sebagai alat pendukung keputusan. Data dikumpulkan, dimasukkan, dan diatur ke dalam database spasial, dan analisis dilakukan untuk membantu membuat keputusan tertentu. Hasil analisis spasial dalam GIS sering kali mengungkap kebutuhan akan lebih banyak data, dan seringkali ada beberapa iterasi melalui langkah-langkah pengumpulan, pengorganisasian, analisis, output, dan penilaian sebelum keputusan akhir tercapai. Penting untuk mengenali struktur organisasi di mana GIS akan beroperasi, dan bagaimana GIS akan diintegrasikan ke dalam proses pengambilan keputusan organisasi.

Satu pertanyaan pertama adalah, "Masalah apa yang harus kita selesaikan dengan GIS?" GIS menambahkan kekuatan analitis yang signifikan melalui kemampuan untuk mengukur jarak dan area, mengidentifikasi sekitar, menganalisis jaringan, dan melalui overlay dan kombinasi informasi yang berbeda. Sayangnya, pengembangan data spasial seringkali mahal, dan penggunaan GIS yang efektif membutuhkan pengetahuan atau pelatihan khusus, sehingga seringkali ada biaya yang cukup besar dalam membangun dan mengoperasikan GIS. Sebelum

menghabiskan waktu dan uang ini harus ada identifikasi yang jelas tentang pertanyaan baru yang mungkin dijawab, atau proses, produk, atau layanan yang akan ditingkatkan, dibuat lebih efisien, atau lebih murah melalui penggunaan SIG. Setelah tujuan diidentifikasi, organisasi dapat menentukan tingkat investasi di GIS yang dijamin.



Gambar 1.18: GIS ada dalam konteks kelembagaan. Penggunaan GIS yang efektif bergantung pada seperangkat protokol dan integrasi ke dalam pengumpulan data, analisis, keputusan, dan loop tindakan organisasi.

1.6.1 Ciri-ciri dan Contoh Data Spasial

Anda dapat melihat berbagai kumpulan data geografis yang melibatkan vektor, raster, jaringan tak beraturan triangulasi, dan medan. Kumpulan data shapefile dan Database dibahas, dan Anda akan dikenalkan ke ArcMap Esri.

1.6.2 Bentuk Asli Data Spasial: Maps

Tiga puluh tahun yang lalu, data spasial berarti map. Map tunggal adalah Database spasial dan, untuk banyak tujuan, sangat bagus. Selama ratusan, mungkin ribuan tahun, hampir semua informasi yang digunakan untuk mendukung perencanaan dan pengelolaan terkait lahan, dan berbagai aktivitas lain seperti navigasi, berasal dari map. Mapmaking menjadi aktivitas yang berkembang dengan baik. Selembar kertas tempat map digambar adalah sebuah kontinum yang dapat mewakili permukaan kuasi-dua dimensi bumi dengan cara yang jelas. (“Sebuah gambar memiliki arti ribuan kata.”) Sering kali ketika orang ditanya “Bagaimana saya bisa melakukannya. . . ? ” mereka menjawab, "Biarkan saya menggambar map untuk Anda."

Lalu, mengapa kita harus menghabiskan jutaan dolar untuk database yang terdiri dari simbol-simbol terpisah ketika tersedia map? Di antara jawabannya adalah bahwa map saja sangat sulit digunakan untuk banyak analisis yang dibutuhkan oleh aktivitas manusia. Ada beberapa cara berharga untuk menggabungkan informasi grafik dengan informasi grafik lainnya. Keputusan yang melibatkan ruang tempat kita tinggal menjadi semakin sulit sepanjang waktu karena semakin banyak faktor yang harus dipertimbangkan. Teknik fisik telah dikembangkan untuk menggabungkan map, seperti melapisi satu map transparan dengan yang lain dan melihat melalui komposit, tetapi metode ini sangat memakan waktu dan memiliki keterbatasan substansial untuk memberikan hasil yang bagus.

Alasan mengapa Database spasial yang terdiri dari simbol diskrit (angka, huruf, dan karakter khusus) mengganti penggunaan map adalah karena, dalam 30 tahun terakhir, kita telah belajar banyak tentang penanganan simbol diskrit, dan kita telah mengembangkan baik teknik maupun peralatan (terutama komputer dan perangkat lunak digital) yang dapat memanipulasi simbol secara efisien dan cepat. Dengan demikian, pendekatan yang pada dasarnya tampak kurang sesuai untuk tugas tersebut ternyata sangat membantu kita — terutama karena peta dua dimensi berkualitas tinggi, yaitu, analogi lanskap dengan keunggulan bawaannya dalam menyampaikan informasi — kini dapat diproduksi oleh computer pada skala yang diinginkan.

1.6.3 Data spasial

Ketika lokasi atau posisi digunakan sebagai dasar referensi utama untuk data, data yang terlibat disebut sebagai data spasial. Misalnya, ketinggian (dalam kaki) landmark Clingman's Dome dan Newfound Gap di Taman Nasional Pegunungan Great Smoky adalah data. Jika basis referensi utama untuk data ini adalah "Taman Nasional Great Smoky," atau x mil selatan Gatlinburg, Tennessee, di U.S. Highway 441, atau lintang p derajat dan bujur q derajat, maka ketinggian dapat disebut sebagai data spasial.

Data spasial adalah simbol diskrit (angka, huruf, atau karakter khusus) yang digunakan untuk mendeskripsikan suatu entitas; data ini diatur menurut lokasi entitas itu di dunia tiga dimensi. Itu adalah data yang berkaitan dengan ruang yang ditempati oleh objek. Hal ini mencakup kota, sungai, jalan raya, negara bagian, lahan panen, pegunungan, dan sebagainya.

1.6.4 Pembatasan Ruang Lingkup

Data spasial (sekali lagi, fakta tentang dunia nyata yang diatur oleh koordinat lokasi) dapat digunakan untuk menggambarkan struktur molekul, sistem saraf pusat manusia, posisi buku di perpustakaan, atau bintang di alam semesta. Karena buku ini berkaitan dengan geografi, kita sekarang mengecualikan beberapa kategori data spasial. Biasanya yang tidak dianggap adalah data yang berhubungan dengan:

Kondisi yang berubah dengan cepat dalam waktu — dalam hitungan jam, hari, atau bahkan berminggu-minggu. Tingkat polusi saat ini, cuaca, dan yang berhubungan tidak akan dimasukkan, meskipun polusi rata-rata pada suatu titik, iklim, dan rentang waktu dapat dimasukkan. Pengecualian terhadap aturan ini dilakukan menggunakan sensor untuk mengumpulkan data langsung tentang kondisi dan meletakkan data tersebut ke situs Internet untuk ditampilkan di web.

Objek yang bergerak di alam — seperti mobil, hewan, atau manusia. Namun, data tentang aliran objek ini melewati titik tertentu pada waktu tertentu mungkin juga disertakan. Pengecualian dari aturan ini dilakukan menggunakan GPS untuk mengikuti truk dan mobil, atau untuk melacak hewan di alam liar.

Keadaan di mana pengidentifikasi lokasi harus lebih tepat dari 1 desimeter (sepersepuluh meter) untuk memastikan bahwa data terkait berguna atau valid. Jarak terkecil yang memisahkan dua entitas yang berdekatan yang dapat dibedakan satu sama lain disebut jarak resolusi, atau sederhananya, resolusi. Jika jarak pemisahan kurang dari resolusi, maka data tidak dapat digunakan untuk menyelesaikan perbedaan dalam kondisi atau situasi. Sekali lagi, ada pengecualian: Surveyor semakin banyak yang menggunakan GIS, dan mereka melakukan pengukuran hingga rentang satu sentimeter.

1.6.5 Data Spasial untuk Pengambilan Keputusan

Kita telah sepakat bahwa data spasial berkaitan dengan kondisi, fakta, dan objek di ruang tiga dimensi. Sebagian besar data spasial yang ada sekarang menggunakan skema referensi dua dimensi seperti garis lintang/bujur (atau proyeksinya) atau alamat jalan. Kecuali jika kumpulan data secara khusus mempertimbangkan masalah ketinggian, koordinat ketiga ini termasuk sebagai bagian dari data atribut (bukan bagian dari pengenal lokasi) atau tersirat oleh sifat datanya. Misalnya, jika data mendeskripsikan karakteristik tanah, orang memahami bahwa beberapa kaki teratas kerak bumi, terlepas dari ketinggiannya, sedang dideskripsikan.

Jenis data yang mungkin menjadi bagian dari kumpulan data spasial dicontohkan pada tabel di bawah.

Tabel 1.1 Contoh Jenis Data yang Dimasukkan ke dalam Data Spasial

• **Tanah**	Jenis, sifat fisik dan kimia
• **Vegetasi**	Komposisi spesies, umur
• **Habitat alam liar**	Jenis, daya dukung
• **Hidrologi**	Air tanah dan permukaan, volume, aliran
• **Geologi**	Jenis batuan, mineral dan bijih, sifat fisik dan kimia, endapan minyak dan gas
• **Fisiografi**	Ketinggian, kemiringan, aspek
• **Penggunaan lahan**	Jenis kegiatan, jenis struktur, zonasi
• **Tutupan lahan**	Jenis, fakta tentang apa yang menutupi permukaan
• **Fasilitas transportasi**	Jenis, kapasitas, jadwal, kondisi, usia
• **Sistem distribusi peralatan**	Area layanan, kapasitas, fitur historis dan landmark — pentingnya, kondisi, kepemilikan, penggunaan
• **Distrik sensus**	Populasi, perumahan, informasi demografis lainnya
• **Distrik pemadam kebakaran**	Peringkat peralatan, peringkat asuransi
• **Zona kode pos**	Delineasi area
• **Pusat ketenagakerjaan**	Jenis, jam kerja, jumlah karyawan, klasifikasi industri
• **Lokasi kantor polisi**	Area yurisdiksi, fasilitas
• **Sumber polusi**	Jenis, durasi, kejadian
• **Informasi persil tanah (Kadastral)**	Nama pemilik, alamat, nilai tanah, nilai bangunan, informasi pajak

1.7 Kumpulan Data Spasial: Database

Kita telah membahas database secara umum (media yang berisi angka, simbol, atau grafik yang diatur menurut beberapa skema). Dan kita telah mengomentari gagasan data spasial (data yang menggambarkan entitas di dunia tiga dimensi di mana lokasi benda yang dideskripsikan merupakan bagian integral dari deskripsi.) Jadi, Database spasial adalah kumpulan data spasial, yang diatur dalam sedemikian rupa sehingga data dapat diambil sesuai dengan pengenal lokasinya dan juga dengan cara lain.

Penyajian daftar tipe data atau variabel yang datanya mungkin disimpan dalam database spasial tidak berarti bahwa skema penyimpanan yang bagus mudah ditentukan, atau bahwa

setiap variabel akan disimpan dengan cara yang sama. Apakah abstraksi geometris untuk tipe data dipilih sebagai titik, garis, luas, atau volume dapat menjadi pertimbangan penting dalam skema penyimpanan tertentu.

Pengembangan Database spasial yang akan digunakan untuk analisis dan pengambilan keputusan adalah seni dan sains. Jadi, ketika program penanganan data sedang dikembangkan, hal penting yang perlu diingat adalah tidak ada satu cara yang paling baik dibanding satu sama lain.

1.7.1 Database Spasial: Sifat yang Permanen

Kesulitan

Selain semua masalah yang dihadapi seseorang dalam membangun, memelihara, dan mengoperasikan database besar, database spasial memiliki kekhasan dan tantangannya sendiri. Berikut beberapa yang perlu diperhatikan.

Ukuran

Seorang pilot pesawat pernah berkata (pada hari-hari sebelum ada radar) bahwa hal yang membuat ATC (Air Traffic Control) tidak bertanggung jawab sepenuhnya dalam upayanya untuk mencegah pesawat bertabrakan adalah bahwa "Tuhan mengemas banyak ruang udara dalam tiga dimensi." Siapapun yang telah mengerjakan perencanaan atau pengelolaan yang berkaitan dengan lapangan tahu bahwa Tuhan juga menempatkan banyak luas permukaan dalam dua dimensi. Dengan demikian, Database spasial yang digunakan untuk pertimbangan lahan dan sumber daya akan (a) tidak mencakup banyak area, (b) tidak menyertakan banyak detail, atau (c) menjadi sangat besar. Database yang sangat besar, terlepas dari kesederhanaannya, mahal untuk dibangun dan dipelihara.

Data spasial pada umumnya menghabiskan banyak memori komputer dan ruang disk. Misalnya, gambar ini adalah gambar ortofoto bagian utara Michigan (sekitar Frankfort dan Pilgrim) dan Danau Michigan. Gambar ini mewakili area sekitar 30 mil persegi.

Gambar 1.19 Ortofotoquad dari sebagian barat laut Michigan

Gambar tsb terdiri dari persegi (elemen gambar, atau piksel) sepanjang 1 meter pada satu sisi dan dapat ditampilkan dalam warna putih, hitam, dan 254 warna abu-abu. File yang mendasari gambar, digambarkan dalam bentuk paling dasar yaitu kode biner akan terlihat seperti ini:

```
010000100001111010001001001010010001100100010011100101111111010101010111111110100000
001010100000101000000000000101010111101011001110001010101000100111010100010000010
000100001111010001001011111111010101000000000001010101010101011101001001001011001000
101110011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011110101011100
111000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000100111
001011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011110101011100111
000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000100111001
011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011110101011100111000
101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000100111001011
111110100000010101000000101000000000000101010111101010110011100010101000100111010100
010000010000100001111010001001001010010001100100010011100101111111010101010111111111
010000001010100000101000000000000101010111101010110011100010101010001001110101000010
000010000100001111010001001011111111010101000000000001010101010101011101001001001011
100100101110011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011110101
101100111000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000
100111001011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011110101011
100111000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000100
111001011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011110101011100
111000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000100111
001011111110100000010101000000101000000000000101010111101010110011100010101000100111
010100010000010000100001111010001001001010010001100100010011100101111111010101010111
111111010000001010100000010100000000000010101011110101011100111000101010100010011101
100010000010000100001111010001001010111111110101010000000000010101010101010101110100
100101100100101110011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101010
111010101100111000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011
001000100111001011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011111
010101100111000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001
000100111001011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011111010
101100111000101010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000
100111001011111110100000010101000000101000000000000101010111101010110011100010101000
100111010100010000010000100001111010001001001010010001100100010011100101111111010101
101011111111010000001010100000101000000000000101010111101010110011100010101010000100
111010100010000010000100001111010001001011111111010101000000000001010101010101011110
100100100101100100101110001010101010101010101010110100101010001001100010001000101010
101010101010111111110100000010101000001010000000000001010101111010101100111000101010
010001001110101000100000100001000011110100010010010100100011001000100111001011111111
010101010111111110100000010101000000101000000000000101010111101010110011100010101
000100111010100010000010000100001000011110100010010010100100011001000100111001011111110
101010101111111101000000101010000010100000000000010101010111101010110011100010101010
001001110101000100000100001000011110100010010010100100011001000100111001011111101
000000101010000010100000000000010101010111101010110011100010101000100011101010001000000
100001000011110100010010010100100011001000100111001011111110101010101111111101000000
010101000001010000000000010101011110101010110011100010101010001001110101000100000100
001000011110100010010111111110101010100000000000010101010101010111010010010110010001
011100111110101010000000000010101010100001010100000101000000000000101010111101010111
001110001010100010011101010001000000100001000011110100010010010100100011001000100111
001011111110101010101111111101000000101010000010100000000000010101011110101011100111
000101010100010011101010001000000100001000011110100010010111111110101010000000000010
101010101010111010010010010110010010111001111110101010000000000010101010101010111010
0100100101100
```

Gambar 1.20 Kode biner

Jika kode biner seperti ini dimasukan dalam buku, bisa mencapai 630 halaman lagi. Hal inilah yang menyebabkan penerbit menolak untuk menyertakan kode biner secara penuh, meskipun dalam format gambar yang kecil sekalipun.

1.7.2 Sifat Berkelanjutan dari Basis Referensi

Di sebagian besar database, poin kunci yang unik dan khusus mengarah ke hal yang unik. Untuk beberapa contoh, nomor lisensi mobil yang diberikan mengidentifikasi mobil tertentu; nama atau nomor Jaminan Sosial yang merujuk kepada seseorang; nomor rumah dan jalan merupakan petunjuk ke tempat tinggal. Fenomena spasial tidak semudah itu, bagaimanapun, fenomena tsb adalah campuran dari diskrit dan kontinu. Artinya, tidak ada korespondensi satu-untuk-satu yang alami dan sepenuhnya memuaskan antara pencari lokasi spasial dan data terkait. Jumlah data yang hampir tak terbatas berpotensi tersedia bahkan di area terkecil di dunia nyata; kita hanya dapat menyimpan sebagian kecil saja. Jadi, dengan memilih teknik tertentu untuk mengatur kontinu ke dalam diskrit, kita menyaring atau "membuang" informasi potensial yang jumlahnya tak terbatas. Jelas, dibutuhkan beberapa kecanggihan dan

pemikiran untuk dapat memilih teknik yang digunakan untuk merepresentasikan koordinat yang berlaku di dunia nyata yang berkelanjutan dan memiliki database yang dapat berguna dalam pemecahan masalah.

1.7.3 Sifat Berkelanjutan dari Data

Selain kontinum ruang dua dan tiga dimensi yang baru saja disebutkan (yaitu, fakta bahwa skema referensi dasar kita berpotensi memiliki banyak titik di dalamnya), ada juga masalah dengan sifat kontinu dari data itu sendiri. Jenis tanah mungkin adalah contoh yang bagus. Sama seperti tidak ada dua kepingan salju yang sama, tidak ada dua tanah yang persis sama. Tanah harus dikategorikan ke dalam kelompok-kelompok dan keputusan dibuat mengenai kelompok mana yang termasuk dalam tanah tertentu. Dalam variabel kontinu alami, seperti elevasi, masalah presisi paralel muncul: Apakah kita mengukur (secara vertikal) ke meter terdekat? Atau ke milimeter terdekat?

1.8 Abstraksi Entitas

Referensi paling sederhana yang dapat dibuat dalam Database spasial adalah ke suatu titik, tetapi tidak ada entitas material yang hanya berupa satu titik. Banyak hal yang kita tangani adalah fitur linier, luas, atau volume, sehingga skema referensi menjadi lebih rumit. Dimana rumahnya? Ada banyak tempat saat Anda benar-benar mencarinya. Apakah Anda mendefinisikannya dari sudut-sudut dalamnya? Apakah Anda memilih satu titik, "sentroid", dan menentukan rumah yang ada pada titik tersebut? Apakah Anda hanya mengatakan itu ada di kota "X", dengan banyak rumah lain? Ada banyak variasi cara mendasar dalam menyatakan "dunia nyata" itu dan bisa dirujuk. Tetapi, berbagai metode ini dapat menjadi tidak kompatibel, menghalangi transfer data atau teknik dalam memanipulasi data.

1.8.1 Banyaknya Sistem Koordinat Spasial yang Ada

Ada banyak sistem koordinat spasial. Sebagian besar yang digunakan untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya bergantung pada penggunaan proyeksi datar dari permukaan lengkung. Dataset yang akan digunakan untuk membangun database spasial multivariabel dapat berasal dari data yang direkam dengan metode representasi yang terdistorsi dan berbeda. Masalah unit, datum, spheroid, dan proyeksi harus ditentukan. Sebuah negara bagian dapat menggunakan banyak sistem koordinat di berbagai bidang. Contohnya adalah lintang dan bujur (baik NAD27 datum dan NAD83 datum), UTM (keduanya NAD27 datum dan NAD83 datum), sistem koordinat bidang negara (satu atau lebih zona), km/mil jalan, mil sungai, sistem koordinat khusus untuk fitur tertentu (misalnya sumur minyak dan gas), dan sebagainya.

1.8.2 Data Tersedia tapi Tidak Cocok

Memang benar bahwa banyak jenis data yang penting yang telah dikumpulkan dalam pembahasan ini, banyak di antaranya tidak dapat digunakan secara langsung dalam database spasial. Hal ini terjadi terutama karena kumpulan data ini, yang dikumpulkan oleh kelompok atau lembaga dengan misi khusus untuk melayani, telah dikumpulkan dalam kategori yang tidak seragam atau telah diinterpretasikan dengan cara tertentu untuk tujuan tertentu. Misalnya, kategori data tanah awal mungkin sengaja tidak berisi informasi yang diperlukan agar tidak dilakukan pengukuran dampak lingkungan dari kegiatan penggunaan lahan.

1.8.3 Upaya yang Diperlukan untuk Pembangunan

Data di basis kita tidak akan berkembang sebagai konsekuensi alami dari beberapa proses yang sudah berlangsung. Pengembang database lain mungkin lebih beruntung. Saat juru tulis memproses aplikasi untuk label lisensi mobil, dia dapat mengetikkan informasi terkait tentang mobil, pemilik, dan tag langsung ke dalam database. Dengan demikian, database berkembang sebagai hasil dari proses penjualan tag yang memang harus terjadi. Database spasial tentang lingkungan tidak berkembang sebagai konsekuensi dari proses lain; melainkan hampir semua pekerjaan dimulai dari awal dalam banyak kasus.

1.8.4 Lingkungan yang Berubah

Seseorang tidak bisa mendapatkan seluruh Database spasial dengan ukuran berapa pun yang dikembangkan sebelum sebagian darinya salah karena beberapa nilai di dunia nyata akan berubah seiring berjalan waktu. Penggunaan lahan adalah contoh variabel yang nilai datanya berubah di banyak tempat setiap harinya. Rumah dibangun. Jalan beraspal. Bahkan fenomena stabil seperti topografi dapat berubah secara drastis dari waktu ke waktu. Misalnya, Sungai Mississippi panjangnya sekitar 1.300 mil ketika LaSalle menaiki sampannya waktu dulu. Ketika Mark Twain menulis tentang itu 200 tahun kemudian, panjangnya berubah kurang dari 1000 mil. Tidak hanya itu, sangat sedikit yang basah di masa LaSalle tetapi masih berupa sungai di masa Twain. Dan untuk lebih menggambarkan kesia-siaan dari setiap upaya pada database spasial "permanen", Sungai Ole Man telah memindahkan setidaknya dua kota dari satu negara bagian ke negara bagian lain dengan berkelok-kelok. Pesan moralnya adalah bahwa beberapa nilai data dari semua variabel dalam database spasial akan berubah seiring waktu. Beberapa prosedur untuk memperbarui basis harus dikembangkan atau nilai basis akan menurun seiring waktu. Selanjutnya, variabel yang berbeda memiliki nilai yang berbeda untuk proses analisis dan pengambilan keputusan dan, tentu saja, berubah pada tingkat yang berbeda. Dalam beberapa kasus, hal yang efisien untuk dilakukan adalah mencatat perubahan saat terjadi; dalam kasus lain, penggantian semua data yang terkait dengan variabel tertentu dilakukan secara berurutan. Bagaimanapun, ada kesulitan dan biaya masing-masing.

1.9 KESIMPULAN

GIS adalah sistem berbasis komputer yang membantu dalam pengembangan dan penggunaan data spasial. Ada banyak alasan kami menggunakan GIS, tetapi sebagian besar didasarkan pada dorongan masyarakat, kebutuhan kami untuk menggunakan sumber daya kami secara lebih efektif dan efisien, dan daya tarik teknologi, minat kami dalam menerapkan alat baru untuk masalah yang sebelumnya tidak terpecahkan. GIS sebagai teknologi berbasiskan ilmu informasi geografi, dan didukung oleh disiplin ilmu geografi, survei, teknik, ilmu antariksa, ilmu komputer, kartografi, statistik, dan lain sebagainya.

GIS terdiri dari komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Karena volume data spasial yang besar dan kebutuhan untuk memasukkan nilai koordinat, perangkat keras GIS sering kali memiliki kapasitas penyimpanan yang besar, kecepatan komputasi yang cepat, dan kemampuan untuk menangkap koordinat. Perangkat lunak untuk GIS memiliki keunikan dalam kemampuannya untuk memanipulasi koordinat dan data atribut terkait. Sejumlah perangkat lunak dan paket tersedia untuk membantu kami mengembangkan GIS.

Sementara GIS didefinisikan sebagai alat untuk digunakan dengan data spasial, kita harus menekankan pentingnya konteks kelembagaan yang sesuai dengan GIS. Karena GIS paling sering digunakan sebagai alat pendukung keputusan, penggunaan GIS yang efektif membutuhkan lebih dari sekedar pembelian perangkat keras dan perangkat lunak. Personel terlatih dan protokol untuk digunakan diperlukan jika GIS akan diterapkan dengan benar. GIS kemudian dapat dimasukkan dalam pertanyaan-kumpulkan-analisis-memutuskan lingkaran ketika memecahkan masalah.

1.10 Soal Latihan

1. Mengapa saat ini kita lebih tertarik pada data spasial daripada 100 tahun yang lalu?
2. Anda mungkin telah mengumpulkan, menganalisis, atau mengkomunikasikan data spasial dengan satu atau lain cara selama sebulan terakhir. Jelaskan masing-masing langkah untuk aplikasi spesifik yang telah Anda gunakan atau amati.
3. Apa perbedaan perangkat keras GIS dari kebanyakan perangkat keras lainnya?
4. Jelaskan perbedaan perangkat lunak GIS dari perangkat lunak komputer lainnya.
5. Apa batasan menggunakan GIS? Dalam kondisi apa teknologi mungkin menghalangi pemecahan masalah, bukan bantuan?
6. Apakah peta kertas dan lembar data kertas merupakan GIS? Mengapa?

1.11 Buku Referensi

Burrough, P. A., McDonnell, R.A. (1992). Principles of Geographical Information Systems. New York: Oxford University Press.

Commission on Geoscience (1997). Rediscovering Geography: New Relevance for Science and Society. Washington D.C.: National Academy Press.

Convis, C.L, Jr. (Ed.). (2001). Conservation Geography: Case Studies in GIS, Computer Mapping, and Activism. Redlands: ESRI Press.

Dodge, M., McDerby, M., Turner, M. (2008). Geographic Visualization: Concepts, Tools, and Applications. Hoboken: Wiley.

Fotheringham, S., Rogerson, P.A. (2009). The SAGE Handbook of Spatial Analysis. London: SAGE.

Greene, R.P., Pick, J.B. (2012). Exploring the Urban Community: A GIS Approach. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Grimshaw, D. (2000). Bringing Geographical Information Systems Into Business, 2nd Edition. New York: Wiley.

Haklay, M. (2010). Interacting with Geospatial Technologies. New York: Wiley.

Hankey, S., J.D. Marshall. (2016). Land use regression models of On-road Particulate Air Pollution (Particulate Number, Black Carbon, PM2.5, Particle Size) Using Mobile Monitoring. Accepted, Environmental Science and Technology.

Haining, R. (1990). Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Sciences. Cambridge: Cambridge University Press.

Johnson, S. (2006). The Ghost Map: the Story of London's Most Terrifying Epidemic, and How It Changed Science, Cities, and the World. New York: Riverhead Books.

Johnston, C. (1998). Geographic Information Systems in Ecology. Boston: Blackwell Scientific.

Kemp, K.K., (Ed.). (2008). Encyclopedia of Geographic Information Science. Los Angeles: SAGE.

Kouyoumijian, V. (2011). GIS in the Cloud: The New Age of Cloud Computing and Geographic Information Systems. Redlands: ESRI Press.

Lawrence, P.L. (Ed.). (2013). Geospatial Tools for Urban Water Resources. New York: Dordrecht/Springer.

Martin, D. (1996). Geographical Information Systems: Socio-economic Applications (2nd ed.). London: Routledge.

McHarg, I. (1995) Design with Nature. New York: Wiley.

National Research Council of the National Academies (2006). Beyond Mapping: Meeting National Needs through Enhanced Geographic Information Science. Washington D.C.: National Academies Press.

Peuquet, D. J., Marble, D. F. (Eds.). (1990). Introductory Readings in Geographic Information Systems. Washington D.C.: Taylor and Francis.

Pickles, J. (Ed.). (1995). Ground Truth: The Social Implications of Geographic Information Systems. New York: Guilford.

Shelito, B.A. (2012). Introduction to Geospatial Technologies. New York: W.H. Freeman.

de Smith, M.G., Goodchild, M.F., Longley, P.A. (2007). Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques, and Software Tools.Leicester: Winchelsea Press.

Theobald, D. M. (2003). GIS Concepts and ArcGIS Methods. Fort Collins: Conservation Planning Technologies.

Tillman Lyle, J. (1999). Design for Human Ecosystems: Landscape, Land Use, and Natural Resources. Washington: Island Press.

Tomlinson, R. (1987). Current and potential uses of geographical information systems. The North American experience, International Journal of Geographical Information Systems, 1:203-218.

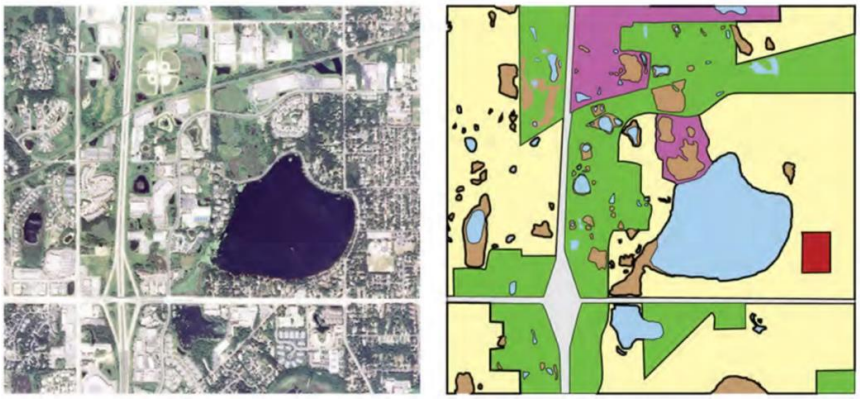
Wise, S., Craglia, M. (Eds.). (2008). GIS and Evidence-based Policy Making. Boca Raton: CRC Press.

BAB 2
MODEL DATA

2.1 Pendahuluan

Data dalam GIS mewakili tampilan yang disederhanakan dari entitas fisik, jalan, pegunungan, lokasi kecelakaan, atau fitur lain yang ingin kita identifikasi. Data mencakup informasi tentang lokasi spasial dan luas entitas, dan informasi tentang properti nonspatial.

Setiap entitas diwakili oleh fitur spasial atau objek kartografi di GIS, sehingga ada korespondensi entitas-objek. Karena setiap sistem komputer memiliki batasan, hanya sebagian dari karakteristik penting yang dicatat. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar dibawah ini, kami mungkin merepresentasikan landcover di suatu wilayah dengan sekumpulan poligon. Poligon-poligon ini dikaitkan dengan serangkaian karakteristik penting yang menentukan setiap tutupan lahan, mungkin jenis vegetasi, kepemilikan, atau penggunaan lahan.



Gambar 2.1: Entitas fisik diwakili oleh objek spasial dalam GIS. Di sini, danau (area gelap) dan tipe tutupan lahan lainnya diwakili oleh poligon.

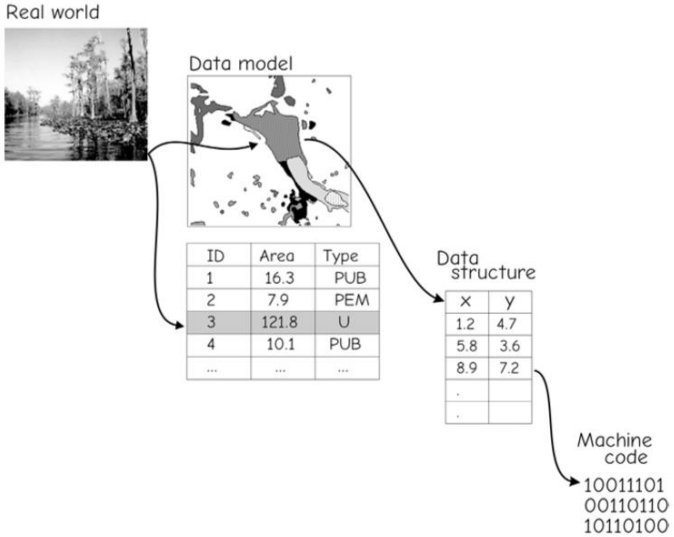
Karakteristik esensial dipilih secara subyektif oleh pengembang data spasial. Karakteristik penting dari hutan akan berbeda di mata seorang penebang dari pada petugas konservasi, pemburu, atau pejalan kaki. Objek adalah representasi abstrak dari realitas yang kita simpan dalam database spasial, dan objek adalah representasi yang tidak sempurna karena kita hanya dapat merekam sebagian dari karakteristik entitas apa pun. Tidak ada satu abstraksi yang secara universal lebih baik dari yang lain, dan tujuan dari pengembang GIS adalah untuk menentukan objek yang mendukung tujuan penggunaan pada tingkat detail dan akurasi yang diinginkan.

Model data spasial dapat didefinisikan sebagai objek dalam database spasial ditambah hubungan di antara mereka. Istilah "model" penuh dengan ambiguitas karena digunakan dalam banyak disiplin ilmu untuk menggambarkan banyak hal. Di sini tujuan dari model data spasial adalah untuk menyediakan cara formal untuk merepresentasikan dan memanipulasi informasi yang direferensikan secara spasial. Pada gambar sebelumnya diatas, model data terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah kumpulan poligon (area tertutup) yang mencatat tepi dari berbagai penggunaan lahan, dan bagian kedua adalah kumpulan angka atau huruf yang terkait dengan setiap poligon. Model data dapat dianggap sebagai tingkat

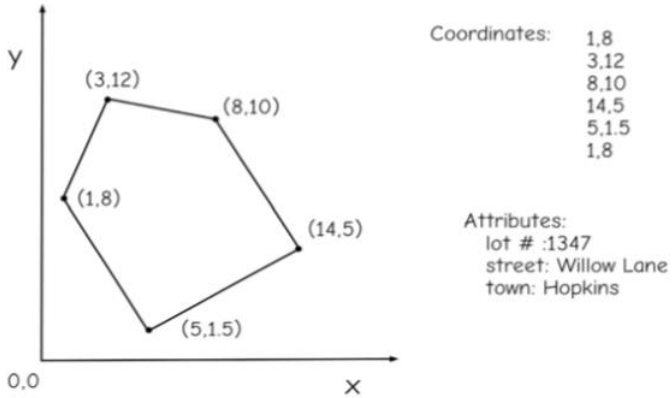
yang paling dapat dikenali dalam abstraksi komputer kita di dunia nyata. Struktur data dan kode mesin biner berturut-turut kurang dapat dikenali, tetapi lebih kompatibel dengan komputer, bentuk data spasial.

Koordinat digunakan untuk menentukan lokasi spasial dan luas objek geografis. Koordinat paling sering terdiri dari sepasang atau triplet angka yang menentukan lokasi dalam kaitannya dengan titik asal. Koordinat menghitung jarak dari asal saat diukur sepanjang arah standar. Koordinat tunggal atau grup diatur untuk mewakili bentuk dan batas yang menentukan objek. Informasi koordinat adalah bagian penting dari model data, dan model berbeda dalam cara mereka merepresentasikan koordinat ini. Koordinat biasanya dinyatakan dalam salah satu dari banyak sistem koordinat standar. Sistem koordinat biasanya didasarkan pada proyeksi peta standar yang secara jelas mendefinisikan nilai koordinat untuk setiap titik di suatu area.

Biasanya, data atribut melengkapi data koordinat untuk mendefinisikan objek kartografi. Data atribut dikumpulkan dan direferensikan ke setiap objek. Data atribut ini mencatat komponen non-spasial suatu objek, seperti nama, warna, pH, atau nilai tunai. Kunci, label, atau indeks lain digunakan sehingga data koordinat dan atribut dapat dilihat, terkait, dan dimanipulasi bersama.

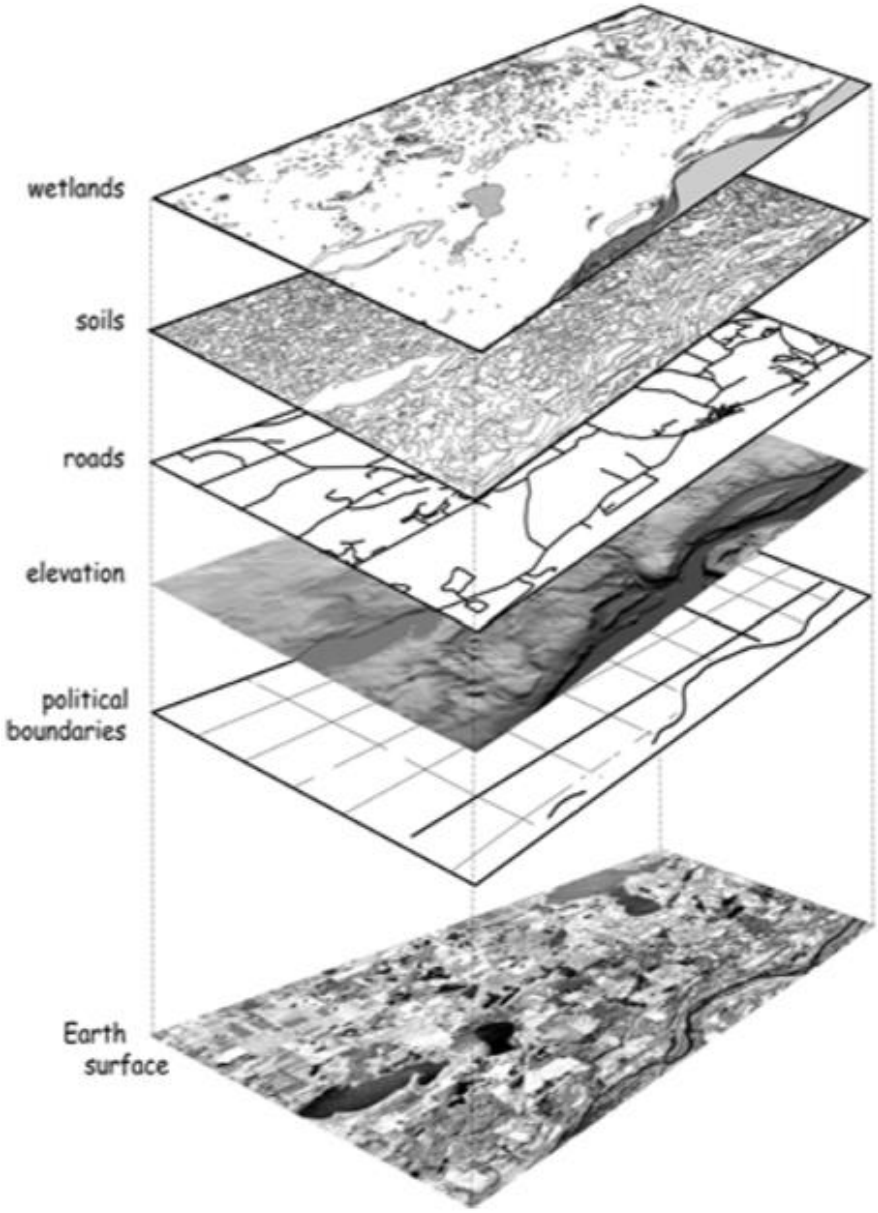


Gambar 2.2 : Tingkat abstraksi dalam representasi entitas spasial. Dunia nyata diwakili dalam bentuk yang lebih kompatibel dengan mesin tetapi bagi manusia tidak jelas.



Gambar 2.3: Data atribut dan Koordinat digunakan untuk merepresentasikan entitas

Kebanyakan konseptualisasi memandang dunia sebagai sekumpulan layer. Setiap layer mengatur data spasial dan atribut untuk sekumpulan objek kartografi tertentu di wilayah yang diinginkan. Ini sering disebut sebagai layer tematik. Sebagai contoh, pertimbangkan database GIS yang mencakup layer data tanah, layer data populasi, layer data ketinggian, dan layer data jalan raya. Layer jalan hanya berisi data jalan, termasuk lokasi dan properti jalan di area analisis. Tidak ada data mengenai lokasi dan properti entitas geografis lainnya di layer jalan. Informasi tentang tanah, populasi, dan ketinggian terdapat di layer datanya masing-masing. Melalui analisis, kami dapat menggabungkan data untuk membuat layer data baru; misalnya, kami dapat mengidentifikasi area yang memiliki ketinggian tinggi dan menggabungkan informasi ini dengan data tanah. Kombinasi ini dapat membuat layer data baru dengan variabel elevasi / tanah komposit baru.



Gambar 2.4 : Data spasial sering disimpan sebagai layer tematik terpisah, dengan objek yang dikelompokkan berdasarkan sekumpulan properti, misalnya, air, jalan, atau tutupan lahan, atau kumpulan lain yang disepakati.

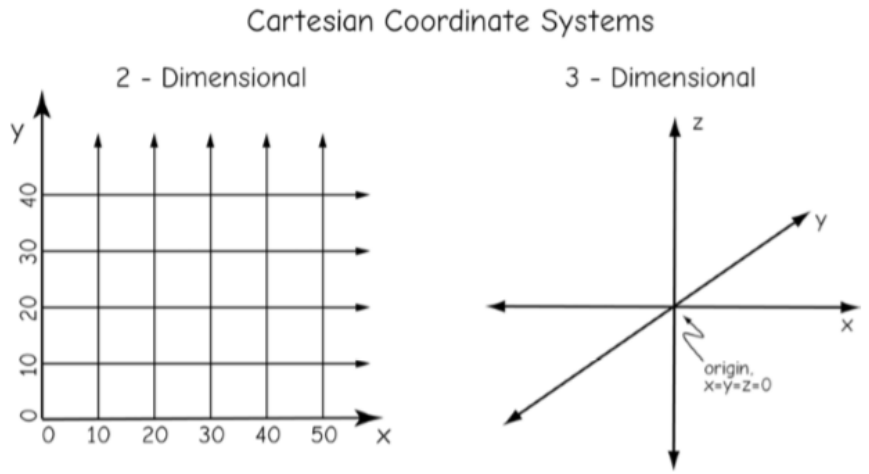
2.2 Koordinat Data

Koordinat menentukan lokasi dalam ruang dua atau tiga dimensi. Pasangan koordinat, x dan y, atau koordinat tripel, x, y, dan z, digunakan untuk menentukan bentuk dan lokasi setiap objek spasial atau fenomena.

Data spasial di GIS paling sering menggunakan sistem koordinat Kartesius, dinamai menurut Rene Descartes, pencetus sistem. Sistem kartesius mendefinisikan dua atau tiga sumbu ortogonal (sudut siku-siku, atau 90°).

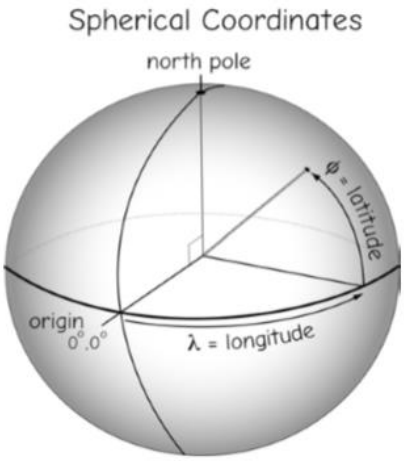
Sistem Kartesius dua dimensi mendefinisikan sumbu x dan y dalam sebuah bidang. Sistem Kartesius tiga dimensi sebagai tambahan menentukan sumbu z, ortogonal terhadap sumbu x dan y. Asal ditentukan dengan nilai nol di persimpangan sumbu ortogonal. Koordinat kartesius biasanya ditentukan sebagai angka desimal yang meningkat dari bawah ke atas dan dari kiri ke kanan.

Sistem koordinat Kartesius dua dimensi adalah pilihan paling umum untuk memetakan area kecil. Kecil adalah istilah relatif, tetapi di sini yang kami maksud adalah peta ladang pertanian, tanah dan properti, kota, dan kabupaten. Kami biasanya memasukkan kesalahan kecil yang dapat diterima untuk sebagian besar aplikasi saat kami mengabaikan kelengkungan Bumi di area kecil ini. Saat kita memetakan area yang lebih luas, atau membutuhkan ketelitian dan akurasi tertinggi, biasanya kita harus memilih sistem tiga dimensi.



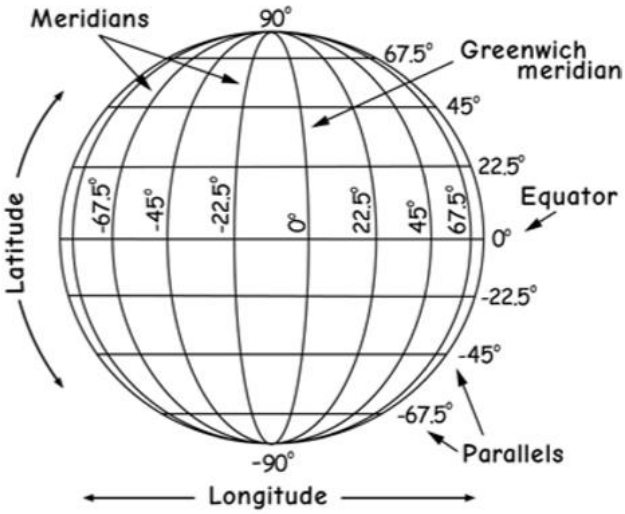
Gambar 2.5 : Sistem koordinat Kartesius dua dimensi (kiri) dan tiga dimensi (kanan).

Data koordinat juga dapat ditentukan dalam sistem koordinat bola. Hipparchus, seorang matematikawan Yunani dari abad ke-2 SM, termasuk orang pertama yang menentukan lokasi di Bumi menggunakan pengukuran sudut pada sebuah bola. Sistem bola yang paling umum menggunakan dua sudut rotasi dan jarak radius, r, untuk menentukan lokasi pada permukaan bumi. Sudut rotasi pertama, bujur (λ), diukur di sekitar sumbu imajiner tempat bumi berputar, sumbu yang melewati Kutub Utara dan Selatan. Nol ditetapkan untuk lokasi di Inggris, dan sudutnya positif ke timur dan negatif ke barat. Bujur nol, juga dikenal sebagai Meridian Utama atau Meridian Greenwich, pertama kali ditentukan melalui Royal Greenwich Observatory di Inggris, tetapi peningkatan pengukuran, pergerakan kerak bumi, dan perubahan konvensi sekarang menempatkan garis bujur nol sekitar 102 meter di sebelah timur Observatorium Greenwich. Bujur timur atau barat ditentukan sebagai sudut rotasi menjauhi garis nol.



Gambar 2.6 : Koordinat bola tiga dimensi dapat menentukan lokasi dengan dua sudut rotasi, λ dan φ, dan vektor jari-jari, r, ke suatu titik pada bola.

Sudut rotasi kedua, diukur sepanjang garis yang memotong kutub utara dan selatan, digunakan untuk menentukan garis lintang. Garis lintang ditentukan sebagai nol di ekuator, garis yang mengelilingi bumi yang selalu berada di tengah-tengah antara Kutub Utara dan Selatan. Dengan konvensi, lintang meningkat ke nilai maksimum 90 derajat di utara dan selatan, atau, jika konvensi tanda digunakan, dari -90 di kutub Selatan menjadi 90 di kutub Utara. Garis bujur konstan disebut meridian, dan garis lintang konstan disebut paralel. Paralel sejajar satu sama lain dalam arah timur-barat mengelilingi bumi. Meridian adalah garis utara / selatan yang bertemu untuk berpotongan di kutub.

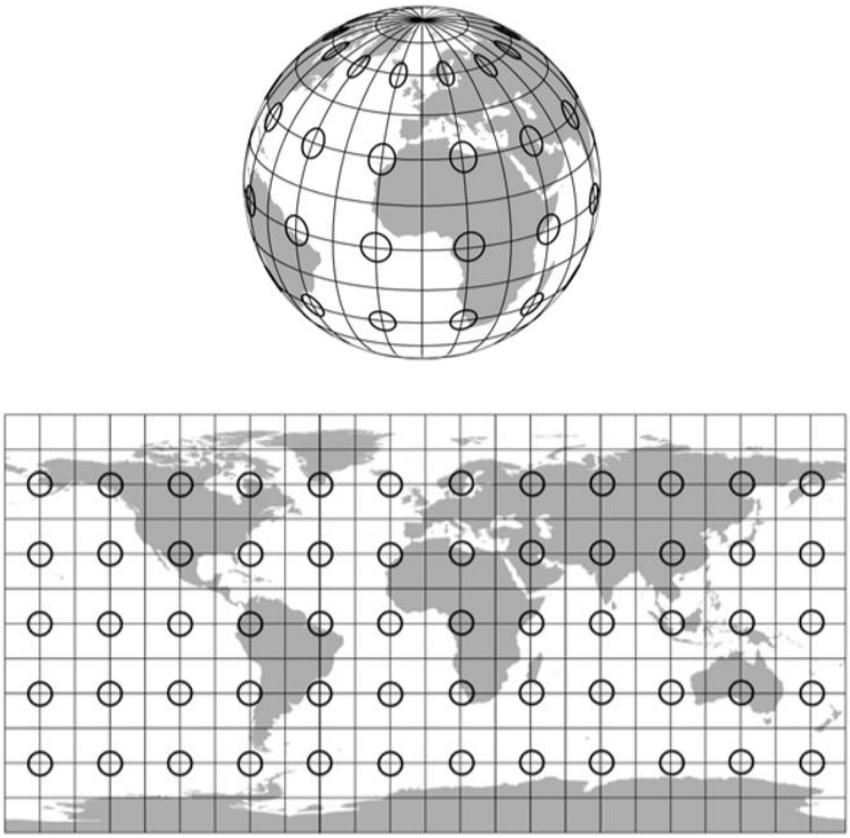


Gambar 2.7 : Nomenklatur lintang dan bujur geografis.

Karena meridian bertemu, koordinat geografis tidak membentuk sistem Kartesius. Sistem Kartesius mendefinisikan garis pada kisi bidang sudut kanan. Koordinat geografis terjadi pada permukaan yang melengkung, dan garis memanjang bersilangan di kutub. Konvergensi ini berarti jarak yang direntang oleh derajat bujur bervariasi dari selatan ke utara. Derajat bujur membentang kira-kira 111,3 kilometer di khatulistiwa, tetapi 0 kilometer di kutub. Sebaliknya, jarak tanah untuk suatu derajat lintang hanya sedikit berbeda, dari 110,6 kilometer di

khatulistiwa hingga 111,7 kilometer di kutub. Sedikit perbedaan dengan garis lintang disebabkan oleh Bumi non-bola, sesuatu yang akan kami jelaskan nanti.

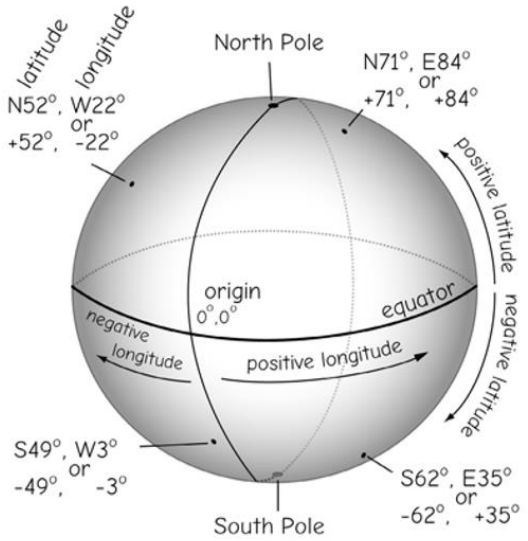
Konvergensi menyebabkan distorsi pada figur geometris biasa yang ditentukan dalam koordinat geografis. Misalnya, "lingkaran" dengan radius tetap dalam unit geografis, seperti 5°, bukanlah lingkaran di permukaan globe, meskipun lingkaran tersebut dapat muncul sebagai lingkaran saat permukaan Bumi "tidak digulung" dan diplot dengan distorsi pada peta datar ; perhatikan ukuran dan bentuk yang salah dari Antartika di bagian bawah.



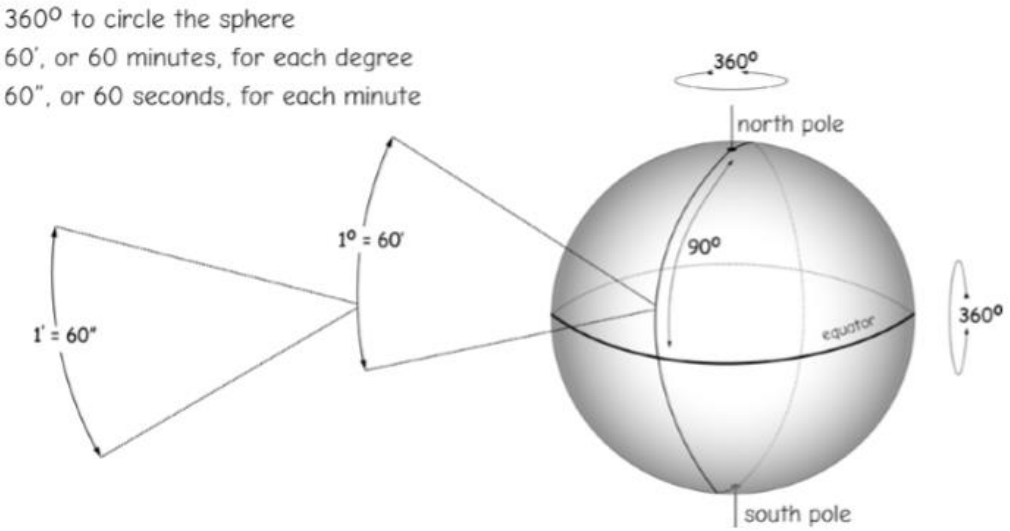
Gambar 2.8 : Koordinat geografis pada representasi bola (kiri) dan Kartesius (kanan). Perhatikan bahwa "lingkaran" yang ditentukan oleh radius 5 derajat terdistorsi di dekat kutub, seperti yang ditunjukkan pada representasi bola, tetapi muncul sebagai lingkaran dalam plot koordinat geografis Kartesius yang sangat terdistorsi (kanan).

Karena sistem bola untuk koordinat geografis adalah non-Kartesius, rumus untuk luas, jarak, sudut, dan properti geometris lainnya yang berfungsi dalam koordinat Kartesius memberikan kesalahan saat diterapkan pada koordinat geografis. Area dihitung setelah dikonversi ke sistem yang diproyeksikan.

Ada dua ketentuan utama yang digunakan untuk menentukan besaran lintang dan bujur. Yang pertama menggunakan huruf depan, N, S, E, atau W untuk menunjukkan arah, diikuti dengan angka untuk menunjukkan lokasi. Lintang utara didahului oleh N dan lintang selatan dengan S; misalnya, N90°, S10°. Nilai garis bujur diawali dengan E atau W; misalnya W110°. Bujur berkisar dari 0 hingga 180 derajat timur atau barat. Perhatikan bahwa bujur timur dan barat bertemu pada 180 derajat, sehingga E180° sama dengan W180°.



Gambar 2.9 : Koordinat bola lintang dan bujur paling sering dinyatakan sebagai arah (N / S, E / W), atau sebagai angka bertanda. Lintang positif utara, selatan negatif; bujur timur positif, barat negatif.



Gambar 2.10 : Ada 360 derajat dalam satu lingkaran penuh, dengan setiap derajat terdiri dari 60 menit, dan setiap menit terdiri dari 60 detik.

Koordinat spherical adalah konvensi umum kedua untuk menentukan lintang dan bujur dalam sistem bola. Lintang utara positif dan lintang selatan negatif, dan bujur timur positif dan bujur barat negatif. Garis lintang bervariasi dari -90 derajat hingga 90 derajat, dan garis bujur bervariasi dari -180 derajat hingga 180 derajat. Dengan konvensi ini bujur “bertemu” pada nilai maksimum dan minimum, jadi -180° sama dengan 180°.

Koordinat dapat dengan mudah diubah antara dua konvensi ini. Lintang utara dan bujur timur diubah dengan menghilangkan N atau E terdepan, masing-masing. Lintang selatan dan bujur barat diubah dengan terlebih dahulu menghilangkan S atau W di depannya, dan kemudian mengubah tanda bilangan yang tersisa dari nilai positif ke nilai negatif.

Koordinat bola paling sering dicatat dalam notasi derajat-menit-detik (DMS); N43° 35 ’20” untuk garis lintang 43 derajat, 35 menit, dan 20 detik. Dalam DMS, setiap derajat terdiri dari busur 60 menit, dan setiap menit dibagi menjadi busur 60 detik. Ini menghasilkan 60 kali 60 atau 3600 detik untuk setiap derajat lintang atau bujur. Perhatikan bahwa orang Babilonia kuno menetapkan pemisahan ini, 360 derajat untuk satu lingkaran penuh, dengan derajat dan menit yang kemudian dibagi menjadi 60 unit, dan kami telah melaksanakan konvensi ini hingga hari ini.

Koordinat bola juga dapat dinyatakan sebagai derajat desimal (DD). Saat menggunakan DD, derajat mengambil kisaran -180 hingga 180 (bujur) dan -90 hingga 90 (lintang), tetapi menit dan detik dilaporkan sebagai bagian desimal dari suatu derajat (dari 0 hingga 0,99999 ...). Dalam contoh kami sebelumnya, N43° 35 '20 "akan dilaporkan sebagai 43.5888. DMS dapat diubah menjadi DD oleh:

$$DD = DEG + MIN / 60 + SEC / 3600$$

Contoh konversi maju dan mundur antara satuan derajat desimal dan derajat-menit-detik.

DD from DMS
DD = D + M/60 + S/3600
e.g.
DMS = 32° 45' 28"

DD = 32 + 45/60 + 28/3600
= 32 + 0.75 + 0.0077778
= 32.7577778

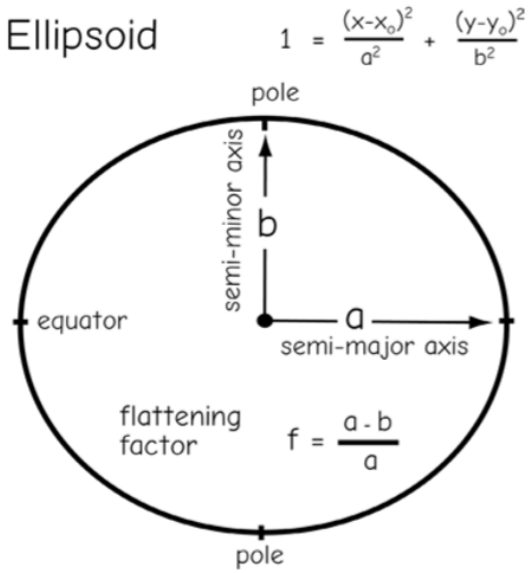
DMS from DD
D = integer part
M = integer of decimal part x 60
S = 2nd decimal x 60
e.g.
DD = 24.93547
D = 24
M = integer of 0.93547 x 60
= integer of 56.1282
= 56
S = 2nd decimal x 60
= 0.1282 * 60 = 7.692
so DMS is
24° 56' 7.692"

Gambar 2.11 : Contoh untuk mengonversi antara ekspresi DMS dan DD dari koordinat bola.

2.2.1 Ellipsodial Bumi

Meskipun kami sering mendeskripsikan bentuk bumi sebagai bola, lebih baik didekati sebagai elipsoid. Elipsoid adalah padatan bola dengan jari-jari yang tidak sama di sepanjang sumbu tegak lurus. Ia dapat dibayangkan sebagai "diratakan" di sepanjang poros revolusinya. Perataan ini cukup kecil, dan kira-kira satu bagian dalam 300. Ini tidak akan terlihat oleh mata telanjang yang diterjemahkan ke dalam skala manusia, misalnya, 30 cm sepanjang lapangan sepak bola, tetapi cukup signifikan untuk membutuhkan pemodelan untuk sebagian besar.

pengukuran dan navigasi yang tepat di permukaan bumi. Banyak perkiraan navigasi dan pengukuran memiliki dua set rumus, satu perkiraan berdasarkan globe bulat murni, dan yang lebih tepat, dan jauh lebih rumit berdasarkan bentuk elipsoidal.



Gambar 2.12 : Bentuk elips, sosok bulat dengan sumbu semimayor dan semiminor yang tidak sama.

Perhatikan bahwa kata spheroid dan ellipsoid sering digunakan secara bergantian. Perangkat lunak GIS sering meminta pengguna untuk sebuah spheroid saat menentukan proyeksi koordinat, dan kemudian mendaftar satu set elipsoid. Sebuah elipsoid kadang-kadang disebut sebagai spheroid "oblate". Dengan demikian, kurang tepat tetapi masih tepat untuk merujuk pada ellipsoid secara lebih umum sebagai spheroid.

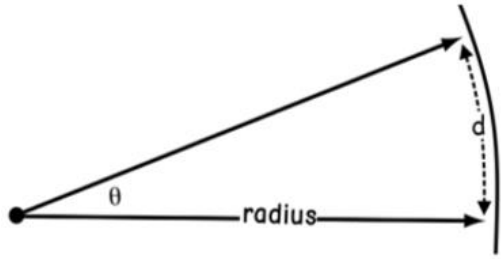
Perkiraan terbaik dari jari-jari bumi, a dan b, telah berkembang seiring dengan peningkatan sistem pengukuran. Saat ini, estimasi terbaik untuk a adalah 6.378.137,0 meter (m), dan untuk b 6.356.752,3 m. Ketika sebuah bentuk bola sederhana diasumsikan dimana a sama dengan b, beberapa angka di antara keduanya biasanya digunakan, seringkali nilai rata-rata 6,367,444,7m.

2.2.2 Mengubah Jarak Busur ke Permukaan

Terkadang kita perlu menghitung jarak di permukaan bumi yang direntang dengan ukuran busur. Misalnya, saya mungkin memiliki dua set koordinat yang berbeda 10 detik busur, dan ingin memperkirakan jarak di antara keduanya. Kita dapat memperkirakan jarak permukaan pada sebuah lingkaran atau bola dengan rumus:

$$d = r.\theta$$

dengan d adalah perkiraan jarak tanah, r adalah jari-jari lingkaran atau bola, dan π adalah sudut busur. Perhatikan bahwa sudut biasanya ditentukan dalam ukuran radian, yang didefinisikan sebagai 2π radian per 360 derajat dalam lingkaran penuh, atau sekitar 57.2957795 derajat per radian. Gambar dibawah ini menunjukkan perhitungan perkiraan jarak rentang.



d = radius • θ

where θ is measured in radians,
with
1 radian = 57.2957°

Given an Earth radius of 6,378,137m, how much distance is spanned by 10" of arc?

Arc= 10"/3600"/1° = 0.00277778°

=0.00277778°/57.2957 degrees/radian
= 0.000048481435 radians

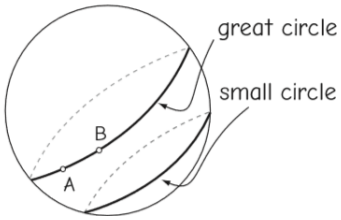
d = 6378137m • 0.000048481435
= 309.2 meters

Gambar 2.13a : Contoh kalkulasi perkiraan jarak permukaan yang direntang oleh busur

Ini adalah rumus perkiraan karena mengasumsikan bumi bulat sempurna, dengan sumbu semi-mayor dan semi-minor yang sama. Seperti dijelaskan sebelumnya, bentuk sebenarnya lebih baik didekati sebagai ellipsoid. Kesalahan dalam jarak permukaan yang dihitung biasanya kurang dari faktor perataan, atau 1 bagian dalam 300, sehingga rumus bola memberikan perkiraan yang dapat diterima dalam banyak aplikasi.

Perhatikan juga bahwa rumus ini berlaku untuk sudut busur umum, yang diukur tanpa memperhatikan sistem garis lintang / garis bujur. Mengganti nilai garis lintang akan menghasilkan jawaban yang cukup akurat, tetapi mengganti nilai garis bujur di mana saja kecuali di sepanjang ekuator akan menghasilkan kesalahan, dengan kesalahan yang lebih besar di dekat kutub, karena nilai garis bujur bertemu di kutub. Rumus ini paling baik digunakan sebagai perkiraan pertama jarak yang mencakup sudut permukaan umum, bukan garis bujur.

Jarak lingkaran besar harus digunakan untuk memperkirakan jarak permukaan antara dua titik yang diketahui garis lintang / bujurnya. Lingkaran besar didefinisikan sebagai garis apa pun yang dihasilkan dari perpotongan sebuah bidang yang melewati pusat bola dunia. Garis ekuator dan meridian adalah lingkaran besar, sedangkan garis lintang yang sama selain garis ekuator bukanlah lingkaran besar. Jarak lingkaran besar adalah jalur terpendek di permukaan bumi antara dua titik, dan rute penerbangan jarak jauh mendekati lingkaran besar. Seperti semua rumus trigonometri, Anda harus tahu apakah perhitungan Anda mengharapkan pengukuran derajat atau radian sebagai masukan, dan mengubahnya sesuai dengan itu. Jika spreadsheet secara default menggunakan radian dalam fungsi trigonometri, derajat harus dibagi dengan 57,2957 (dikonversi ke radian) sebelum dihitung.



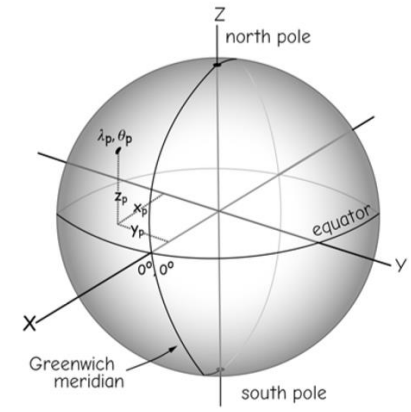
Gambar 2.13b : Perhitungan jarak lingkaran besar antar titik.

Keterangan :

Jarak Lingkaran Besar
Pendekatan bola
Pertimbangkan dua titik di permukaan bumi,
A dengan lintang, bujur (φ_A, λ_A), dan
B, dengan lintang, bujur (φ_B, λ_B)
Jarak lingkaran besar antar titik pada bola diberikan oleh rumus:
d = r. cos-1 [(sin (φ_A). sin (φ_B) + cos (φ_A) cos (φ_B). cos (λ_A - λ_B)),
dimana d adalah jarak terpendek di permukaan bumi dari A ke B, dan r adalah radius bumi, kira-kira 6378 km.
Sebagai contoh, jarak antara Paris, Prancis, dan Seattle, AS, adalah:
Lintang, Bujur Paris, Prancis = 48.864716°, 2.349014°
Latitude, longitude Seattle, USA = 47.655548°, -122.30320°
d = 6378. cos-1 [(sin (48.864716). sin (47.655548) + cos (48.864716). cos (47.655548). cos {2.349014 - (- 122.30320)}] = 8.043.6558km

2.2.3 Konversi dari Geografis ke Koordinat Kartesius 3 Dimensi

Terkadang kita harus mengonversi antara koordinat lintang / bujur dan sistem koordinat Kartesius 3-D. Sistem Kartesius ini disejajarkan dengan sumbu Z melalui Kutub Utara geografis, dan sumbu X dan Y membentuk bidang di ekuator. Rumus matematika memungkinkan kita menghitung X, Y, dan Z apa pun yang diberi garis lintang, bujur, dan jari-jari Bumi. Rumus ini biasanya digunakan oleh ahli geodesi dalam survei yang paling tepat, tetapi juga disematkan di banyak perangkat lunak yang mengonversi berbagai versi data koordinat kami.



longitude, latitude from known 3-D Cartesian

$$\lambda_p, \theta_p = F(x_p, y_p, z_p)$$

3-D Cartesian from known latitude, longitude

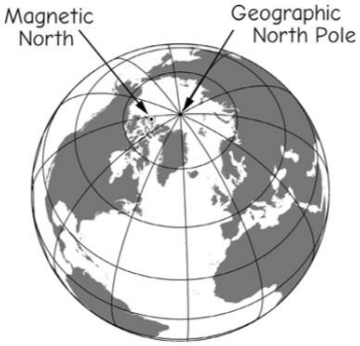
$$x_p, y_p, z_p = G(\lambda_p, \theta_p)$$

Gambar 2.14 : Ada rumus untuk mengkonversi antara koordinat geografis bola yang diketahui (lintang dan bujur pada bola) dan koordinat Kartesius 3D yang sesuai.

Ada dua set rumus yang berbeda, satu dengan asumsi Bumi bulat, dan yang lebih akurat dengan asumsi Bumi elipsoidal. Pembahasan rinci tentang ini sebaiknya ditinggalkan untuk kursus lanjutan, dan rumusnya disertakan dalam Lampiran C untuk referensi.

2.2.4 Geografis dan Magnetik Utara

Seringkali ada kebingungan antara utara magnet dan utara geografis. Utara magnetik dan utara geografis tidak bertepatan. Utara magnet adalah lokasi yang ditunjukkan oleh kompas. Kutub Utara geografis adalah lokasi utara rata-rata sumbu rotasi bumi. Jika Anda berdiri di kutub utara geografis dengan kompas, itu akan menunjuk kira-kira ke arah utara Kanada, ke arah utara magnet sekitar 600 kilometer jauhnya.



Gambar 2.15 : Magnetik utara dan Kutub Utara geografis.

Karena utara magnet dan Kutub Utara geografis tidak berada di tempat yang sama, kompas tidak menunjuk ke utara geografis saat diamati dari sebagian besar tempat di Bumi. Kompas biasanya akan menunjuk ke timur atau barat utara geografis, menentukan perbedaan sudut arah ke kutub. Perbedaan sudut ini disebut deklinasi magnetik dan bervariasi di seluruh dunia, dan juga bervariasi sepanjang waktu. Spesifikasi sistem koordinat bola selalu mengacu pada kutub utara geografis, bukan magnet utara.

Perhatikan bahwa definisi utara geografis kami adalah lokasi rata-rata sumbu rotasi Bumi. Kami mengatakan rata-rata karena Bumi "bergetar", atau berputar pada porosnya. Ini berarti lokasi sumbu sedikit berbeda, dalam lingkaran sekitar 9 meter (30 kaki), sehingga kutub Utara yang tampak "mengembara" di dalam lingkaran ini. Nutasi memiliki jangka waktu 433 hari, dengan kutub kembali ke lokasi aslinya selama waktu tersebut. Nutasi berbeda dari kemiringan tahunan 23,5 derajat melintasi ekuinoks.

2.2.5 Jenis dan Atribut Data

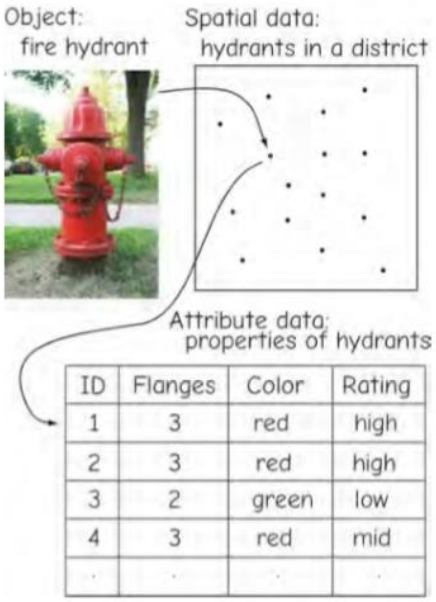
Data atribut digunakan untuk mencatat karakteristik nonspatial suatu entitas. Atribut, juga disebut item atau variabel, dapat dibayangkan sebagai daftar karakteristik yang mendeskripsikan fitur yang kami wakili dalam SIG. Warna, kedalaman, berat, pemilik, tipe vegetasi, atau penggunaan lahan adalah contoh variabel yang mungkin muncul sebagai atribut. Atribut memiliki nilai; Misalnya, hidran kebakaran mungkin berwarna merah, kuning, atau oranye, memiliki 1 hingga 4 flensa, dan peringkat tinggi, sedang, atau rendah.

Sejumlah karakteristik yang terbatas dipilih untuk mewakili sekumpulan fitur. Terkadang hanya satu atribut yang disimpan untuk setiap lokasi, misalnya, layer sederhana yang mengandung konsentrasi kabut asap di atmosfer. Atribut di layer kota dapat mencakup populasi, total wilayah kota, nama walikota saat ini, dan kabupaten serta negara bagian yang memuat kota tersebut. Atribut ini mungkin cukup untuk beberapa tujuan penggunaan layer, tetapi ada banyak atribut lain yang dapat digunakan untuk menandai kota. Jumlah dan jenis atribut yang disimpan untuk suatu fitur menurut definisi merupakan subset dari yang mungkin, dan tidak ada set yang secara universal lebih unggul dari set potensial lainnya. Kumpulan atribut mencerminkan kebutuhan pengembang dan pengguna data, dan harus dinilai dengan cermat untuk setiap layer data sebelum pengembangan layer atau penggunaannya dalam analisis.

Atribut sering disajikan dalam tabel dan disusun dalam baris dan kolom. Setiap baris berhubungan dengan objek spasial, dan setiap kolom berhubungan dengan atribut. Tabel sering kali disusun dan dikelola menggunakan program komputer khusus yang disebut sistem manajemen database.

Atribut bisa dalam banyak bentuk, tetapi semua atribut dapat dikategorikan sebagai atribut nominal, ordinal, atau interval / rasio.

Atribut nominal adalah variabel yang memberikan informasi deskriptif tentang suatu objek. Warna dicatat untuk setiap hidran. Contoh lain dari data nominal adalah tipe vegetasi, nama kota, pemilik persil, atau seri tanah. Tidak ada urutan, ukuran, atau informasi kuantitatif tersirat yang terkandung dalam atribut nominal.



ID	Flanges	Color	Rating
1	3	red	high
2	3	red	high
3	2	green	low
4	3	red	mid
.	.	.	.

Gambar 2.16 : Atribut biasanya dibayangkan sebagai disusun berdasarkan kolom dan baris, dengan objek diatur dalam baris, dan atribut disejajarkan dalam kolom.

Atribut nominal juga dapat berupa gambar, klip film, rekaman audio, atau informasi deskriptif lainnya, misalnya, GIS untuk real estat sering kali memiliki gambar bangunan sebagai bagian dari database. Gambar, video, atau rekaman suara yang disimpan sebagai atribut terkadang disebut sebagai "BLOB" untuk objek besar biner.

Atribut ordinal menyiratkan peringkat atau urutan berdasarkan nilainya. Atribut ordinal mungkin deskriptif, seperti tinggi, sedang, atau rendah, atau mungkin numerik; misalnya, kelas erosi dapat diberi nilai dari 1 sampai 10. Urutan tersebut hanya mencerminkan peringkat, dan bukan skalanya. Nilai ordinal empat memiliki peringkat yang lebih tinggi daripada nilai dua, tetapi kami tidak dapat menyimpulkan bahwa nilai atribut dua kali lebih besar, karena kami tidak dapat mengasumsikan skalanya linier.

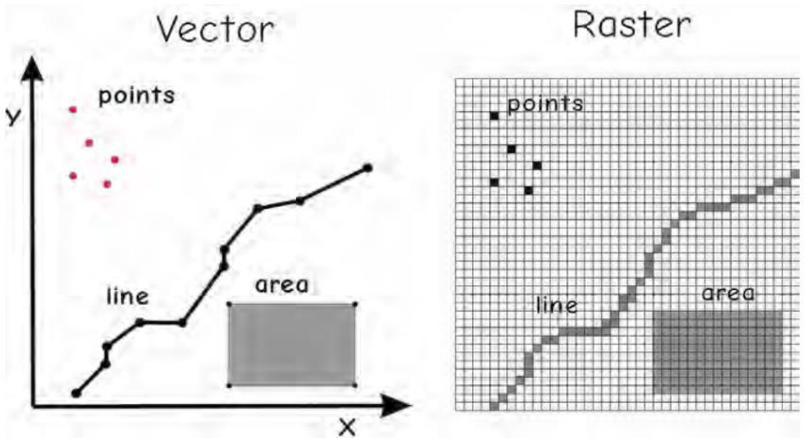
Atribut interval / rasio digunakan untuk item numerik di mana urutan peringkat dan perbedaan absolut dalam besaran terwakili. Data ini sering dicatat sebagai bilangan real dalam skala linier. Area, panjang, berat, tinggi, atau kedalaman adalah beberapa contoh atribut yang diwakili oleh variabel interval / rasio.

Item memiliki domain, berbagai nilai yang dapat mereka ambil. Warna mungkin dibatasi pada merah, kuning, dan hijau; arah mata angin ke utara, selatan, timur, atau barat; dan ukuran untuk semua bilangan real positif.

2.3 Model Data Spasial Umum

Model data spasial dimulai dengan konseptualisasi. Pertimbangkan peta jalan yang cocok untuk digunakan di tingkat negara bagian atau provinsi. Peta ini didasarkan pada konseptualisasi yang mendefinisikan jalan sebagai garis. Garis ini menghubungkan kota dan kota kecil yang ditampilkan sebagai titik atau poligon terpisah pada peta. Properti jalan mungkin hanya mencakup jenis jalan, misalnya, jalan raya antarnegara bagian, jalan kabupaten, atau jenis jalan lainnya. Jalan memiliki lebar yang diwakili oleh simbol gambar pada peta, namun, lebar ini, jika diskalakan, mungkin tidak mewakili lebar jalan yang sebenarnya. Konseptualisasi ini mengidentifikasi setiap jalan sebagai fitur linier yang sesuai dengan sejumlah kecil kategori. Semua jalan raya negara bagian direpresentasikan secara merata meskipun mungkin berbeda-beda. Beberapa mungkin memiliki bahu lebar, yang lain tidak, atau pembatas pembatas beton, versus median bervegetasi luas. Kami menyadari bahwa perbedaan ada dalam konseptualisasi kami.

Ada dua konseptualisasi utama yang digunakan untuk data spasial digital. Konseptualisasi pertama mendefinisikan objek diskrit menggunakan model data vektor. Model data vektor menggunakan elemen diskrit seperti titik, garis, dan poligon untuk merepresentasikan geometri entitas dunia nyata.



Gambar 2.17 : Model data raster dan vektor

Ladang pertanian, jalan, lahan basah, kota, dan jalur sensus adalah contoh entitas yang sering diwakili oleh objek diskrit. Titik sering digunakan untuk menentukan lokasi benda "kecil" seperti sumur, bangunan, atau kolam. Garis dapat digunakan untuk merepresentasikan objek linier, misalnya sungai atau jalan raya, atau untuk mengidentifikasi batas antara apa yang menjadi bagian dari objek dan apa yang bukan merupakan bagian dari objek. Kami dapat memetakan tutupan lahan untuk wilayah yang diminati, dan kami mengkategorikan wilayah terpisah sebagai jenis tutupan lahan yang seragam. Sebuah hutan mungkin berbagi tepi dengan padang rumput, dan batas ini diwakili oleh garis. Batas antara dua poligon tidak boleh terpisah di permukaan. Misalnya, tepi hutan dapat berubah menjadi campuran pepohonan dan rerumputan, lalu menjadi padang rumput; namun dalam konseptualisasi vektor, garis antara dua jenis tutupan lahan akan digambar untuk menunjukkan transisi yang tiba-tiba dan diskrit. Garis dan titik memiliki lokasi koordinat, tetapi titik tidak memiliki dimensi, dan garis tidak memiliki dimensi yang tegak lurus dengan arahnya. Fitur area dapat ditentukan oleh satu set garis yang tertutup dan terhubung.

Konseptualisasi umum kedua mengidentifikasi dan merepresentasikan sel grid untuk wilayah tertentu yang diminati. Konseptualisasi ini menggunakan model data raster. Sel raster disusun dalam pola baris dan kolom untuk menyediakan cakupan "dinding ke dinding" dari suatu wilayah studi. Nilai sel digunakan untuk mewakili jenis atau kualitas variabel yang dipetakan. Model raster paling sering digunakan dengan variabel yang dapat berubah terus menerus di suatu wilayah. Ketinggian, suhu rata-rata, kemiringan, curah hujan rata-rata, paparan ozon kumulatif, atau kelembaban tanah adalah contoh fenomena yang sering direpresentasikan sebagai bidang kontinu. Representasi raster terkadang juga digunakan untuk merepresentasikan fitur diskrit, misalnya, peta kelas vegetasi atau unit politik.

Model data terkadang dapat dipertukarkan karena banyak fenomena dapat direpresentasikan dengan pendekatan vektor atau raster. Misalnya, ketinggian dapat direpresentasikan sebagai permukaan (bidang kontinu) atau sebagai rangkaian garis yang mewakili kontur dengan ketinggian yang sama (objek diskrit). Data dapat diubah dari satu pandangan konseptual ke yang lain; misalnya, lokasi garis kontur (garis dengan ketinggian yang sama) dapat ditentukan dengan mengevaluasi permukaan raster, atau layer data raster dapat diturunkan dari sekumpulan garis kontur. Konversi ini memerlukan beberapa biaya baik secara komputasi maupun mungkin dalam keakuratan data.

Keputusan untuk menggunakan konsep raster atau vektor sering kali bergantung pada operasi yang paling sering dilakukan. Kemiringan lebih mudah ditentukan saat ketinggian direpresentasikan dalam kumpulan data raster. Namun, kontur diskrit seringkali merupakan format yang disukai untuk peta yang dicetak, sehingga konseptualisasi diskrit model data vektor mungkin lebih disukai untuk aplikasi ini. Model data terbaik untuk aplikasi tertentu bergantung pada operasi yang paling umum, pengalaman dan pandangan pengguna GIS, bentuk data yang tersedia, dan pengaruh model data terhadap kualitas data.

Model data lain yang kurang umum terkadang digunakan. Jaringan tak beraturan triangulasi (TIN) adalah contoh model data semacam itu, yang digunakan untuk merepresentasikan permukaan, seperti ketinggian, melalui kombinasi fitur titik, garis, dan area. Varian atau representasi lain yang terkait dengan model data raster juga ada.

2.3.1 Beberapa Paradigma untuk Menyimpan Data Geografis

Cara cerdik untuk mengambil data mengenai lingkungan secara terus menerus dan hampir tak terbatas dan menyimpan fitur-fiturnya yang penting dalam komputer diskrit telah dikembangkan. Data spasial yang disimpan dalam satu skema tidak mudah diubah ke skema lainnya, dan seseorang hampir selalu kehilangan informasi dalam transfer semacam itu.

Misalnya, soal merepresentasikan ketinggian di atas permukaan laut suatu wilayah geografis. Pertama-tama, seseorang berhadapan, secara teori, dengan jumlah nilai yang tak terhingga. Jika Anda menetapkan ketinggian suatu titik, maka, bergantung pada ketepatan pengukuran Anda, titik terdekat, katakanlah 1 meter ke utara, akan memiliki ketinggian yang berbeda. Ketinggian suatu area dapat dianggap sebagai permukaan kontinu, berpotensi berbeda pada setiap posisi lintang dan bujur. Kecuali jika kita dapat memodelkan permukaan ini dengan persamaan matematika (dan, dengan pegunungan rata-rata atau padang rumput sapi, hal ini tidak mungkin dilakukan), kita terjebak dengan keharusan untuk memilih sekumpulan titik tertentu, menentukan ketinggiannya, dan membuat asumsi tentang ketinggian di antara titik-titik tersebut.

Beberapa cara untuk merepresentasikan ketinggian di GIS telah digunakan. Ketiganya adalah sebagai berikut:

- Kontur
- Model elevasi digital
- Jaringan triangulasi yang tidak teratur

Hal ini akan kita bahas lebih mendetail nanti, tetapi mari kita lihat karakteristik dasarnya.

Kontur sudah tidak asing lagi bagi Anda dari pengalaman Anda mempelajari peta topografi. Setiap garis kontur mewakili ketinggian tertentu. Artinya, jika Anda berjalan di sepanjang jalan yang digambarkan oleh garis kontur, ketinggian Anda tidak akan berubah. Mengingat bahwa GIS adalah perkawinan database geografis dan database atribut, Anda melihat bahwa titik geografis di sepanjang jalur membentuk bagian geografis dari perpaduan ini, sedangkan ketinggian garis adalah atribut datum. Untuk mendapatkan perkiraan elevasi pada titik antara dua garis kontur dapat digunakan interpolasi.

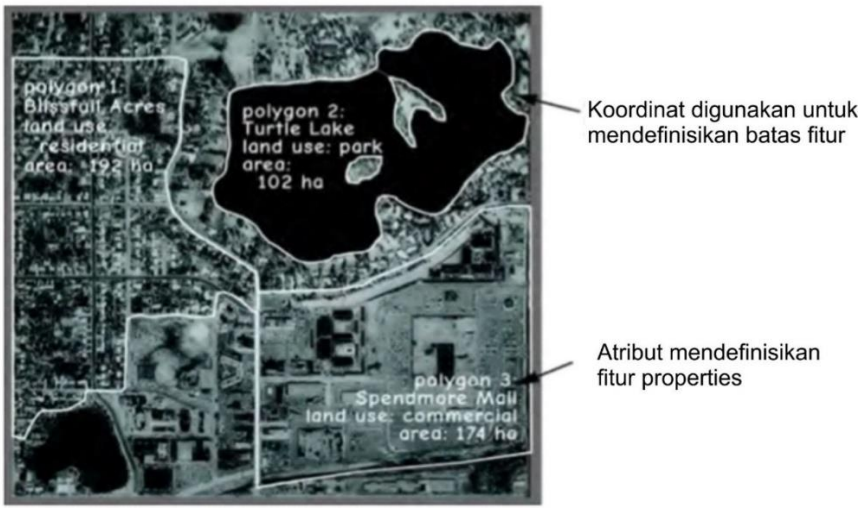
Model elevasi digital (DEM/digital elevation models) mengandalkan ide raster. Raster adalah sekumpulan kotak berukuran sama, disusun dalam baris dan kolom, yang menutupi (tessellate, jika Anda menginginkan kata keren) bidang. Pikirkan papan catur — atau ubin persegi di lantai dapur. Posisi geografis setiap persegi (misalnya, pusatnya) dapat dihitung dengan nomor baris dan kolomnya. Setiap kotak memiliki atribut yang mungkin merupakan elevasi rata-rata (atau, jika DEM dibuat untuk pilot pesawat, akan lebih baik jika atributnya adalah elevasi maksimum!) Oleh karena itu, elevasi yang dilaporkan konstan dalam suatu persegi tertentu dan biasanya berubah di setiap tepi setiap persegi, menjadikan representasi agak kasar. Jelas, DEM dengan lebih banyak, dan lebih sedikit, kotak mampu merepresentasikan permukaan dengan lebih baik. Tentu saja, nilai yang diperoleh dari DEM untuk posisi tertentu hampir dijamin akan salah.

Jaringan triangulasi tak beraturan (TIN/triangulated irregular networks) mewakili permukaan suatu area geografis yang digambarkan dengan segitiga yang simpulnya merupakan titik ketinggian yang diketahui. Karena tiga titik menentukan bidang, komputer dapat menghasilkan perkiraan nilai ketinggian untuk setiap titik yang diminta di antara titik-titik tersebut. Tentu saja, permukaan bumi tidak terdiri dari segitiga, dan pemilihan yang buruk

dari titik-titik dengan ketinggian yang diketahui (misalnya, di tengah bukit daripada di puncaknya) dapat secara dramatis, berdampak negatif pada keakuratan TIN. Sekali lagi, semakin banyak titik yang diketahui, semakin banyak segitiga, dan (secara potensial) semakin baik representasi dari lingkungan sebenarnya. Penggunaan LIDAR dari sensor pesawat dapat menghasilkan ketinggian titik yang mungkin hanya berjarak dua meter secara horizontal. Akurasi yang sangat tinggi dimungkinkan.

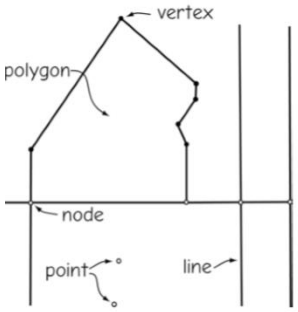
2.3.2 Model Data Vektor

Model data vektor menggunakan kumpulan koordinat dan data atribut terkait untuk menentukan objek diskrit. Grup koordinat menentukan lokasi dan batas objek diskrit, dan data koordinat ini ditambah atribut yang terkait digunakan untuk membuat objek vektor yang mewakili entitas dunia nyata.



Gambar 2.18 : Koordinat menentukan lokasi dan bentuk spasial. Atribut merekam karakteristik non-spasial penting dari fitur dalam model data vektor.

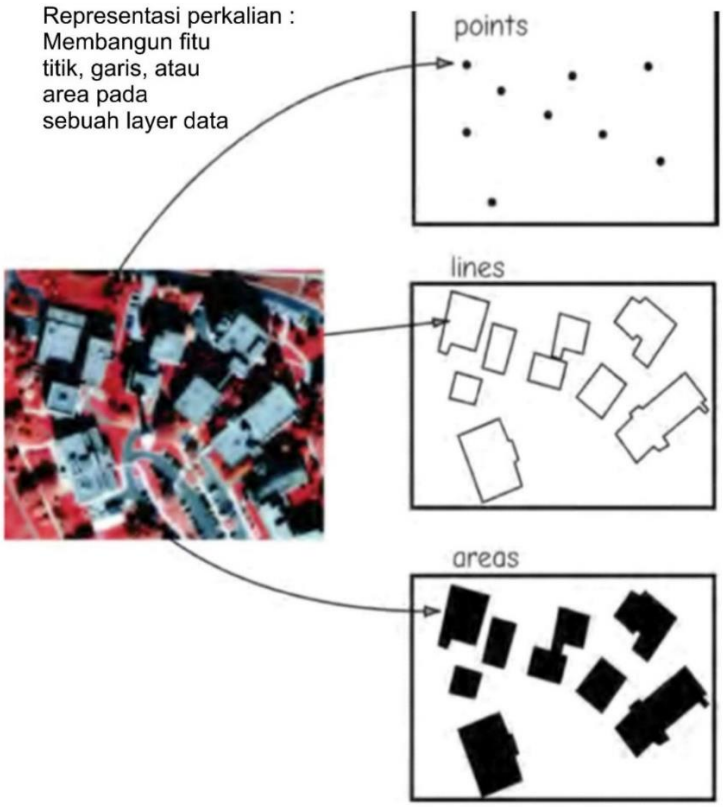
Ada tiga tipe dasar objek vektor: titik, garis, dan poligon. Sebuah titik menggunakan pasangan koordinat tunggal untuk merepresentasikan lokasi suatu entitas yang dianggap tidak memiliki dimensi. Sumur gas, tiang lampu, lokasi kecelakaan, dan titik survei adalah contoh entitas yang sering direpresentasikan sebagai objek titik. Beberapa di antaranya memiliki dimensi fisik yang nyata, tetapi untuk keperluan pengguna GIS, nilai tersebut dapat direpresentasikan sebagai poin. Akibatnya, ini berarti ukuran atau dimensi entitas tidak penting, hanya lokasinya.



Gambar 2.19: Titik, simpul, dan simpul menentukan fitur titik, garis, dan poligon dalam model data vektor.

Data atribut dilampirkan ke setiap titik, dan data atribut ini mencatat karakteristik nonspatial penting dari entitas titik. Saat menggunakan titik untuk mewakili tiang lampu, informasi atribut penting mungkin adalah ketinggian tiang, jenis cahaya dan sumber listrik, dan tanggal terakhir tiang diservis.

Fitur linier, sering disebut sebagai garis atau busur, direpresentasikan sebagai garis saat menggunakan model data vektor. Garis paling sering direpresentasikan sebagai kumpulan pasangan koordinat yang teratur. Setiap baris terdiri dari segmen garis yang berjalan di antara koordinat yang berdekatan dalam himpunan berurutan. Sebuah garis lurus yang panjang dapat diwakili oleh dua pasangan koordinat, satu di awal dan satu lagi di akhir garis. Entitas linier melengkung paling sering direpresentasikan sebagai kumpulan segmen garis pendek, lurus, meskipun garis lengkung terkadang direpresentasikan oleh rumus matematika yang menggambarkan bentuk geometris. Garis biasanya memiliki titik awal, titik akhir, dan titik tengah untuk mewakili bentuk entitas linier. Titik awal dan titik akhir untuk sebuah garis terkadang disebut sebagai simpul, sedangkan titik tengah dalam sebuah garis disebut sebagai simpul. Atribut dapat dilampirkan ke seluruh garis, segmen garis, atau ke simpul dan simpul di sepanjang garis



Gambar 2.30 : Konseptualisasi alternatif dapat digunakan untuk merepresentasikan fitur. Di sini sekumpulan bangunan diwakili oleh fitur titik (atas), garis (tengah), atau poligon (bawah). Representasi yang disukai bergantung pada tujuan penggunaan data.

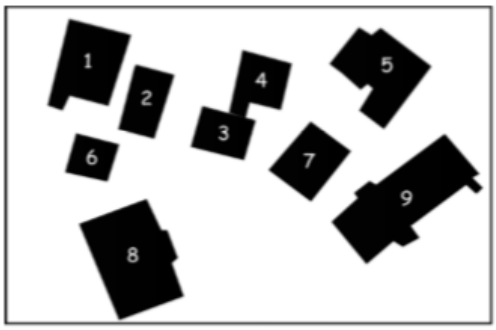
Entitas area paling sering diwakili oleh poligon tertutup. Poligon ini dibentuk oleh sekumpulan garis yang terhubung, baik satu garis dengan titik akhir yang menghubungkan kembali ke titik awal, atau sebagai kumpulan garis yang terhubung dari awal ke akhir. Poligon memiliki daerah interior dan mungkin seluruhnya menutupi poligon lain di daerah ini. Poligon mungkin

berdampingan dengan poligon lain dan dengan demikian berbagi garis "pembatas" atau "tepi" dengan poligon lain. Data atribut seperti luas, keliling, jenis tutupan lahan, atau nama kabupaten dapat dihubungkan ke setiap poligon.

Perhatikan bahwa tidak ada cara unggul yang seragam untuk merepresentasikan fitur. Beberapa jenis fitur mungkin tampak lebih "alami" diwakili satu cara: penutup lubang got sebagai titik, jalan sebagai garis, dan taman sebagai poligon. Namun, dalam kumpulan data yang sangat rinci, tutup lubang got dapat direpresentasikan sebagai lingkaran, dan kedua tepi jalan dapat digambar dan jalan direpresentasikan sebagai poligon. Representasinya sangat bergantung pada detail, keakuratan, dan tujuan penggunaan kumpulan data seperti konsepsi umum kita atau bentuk umum objek.

Satu set fitur dapat direpresentasikan secara berbeda, tergantung pada minat dan tujuan pengguna GIS. Layer titik dapat dipilih jika posisi fitur umum diperlukan, misalnya, lokasi bangunan umum. Pengguna lain mungkin tertarik dengan garis besar fitur dan membutuhkan representasi dengan garis, sedangkan representasi poligon mungkin lebih disukai untuk aplikasi lain. Tujuan penggunaan kami sering kali menentukan model konseptual kami dan karenanya jenis vektor digunakan untuk merepresentasikan fitur.

Dalam model vektor yang paling umum, ada tabel atribut yang terkait dengan setiap layer vektor, dan satu baris dalam tabel yang sesuai dengan setiap fitur di layer. Tabel ini menyimpan atribut yang diminati untuk setiap fitur.

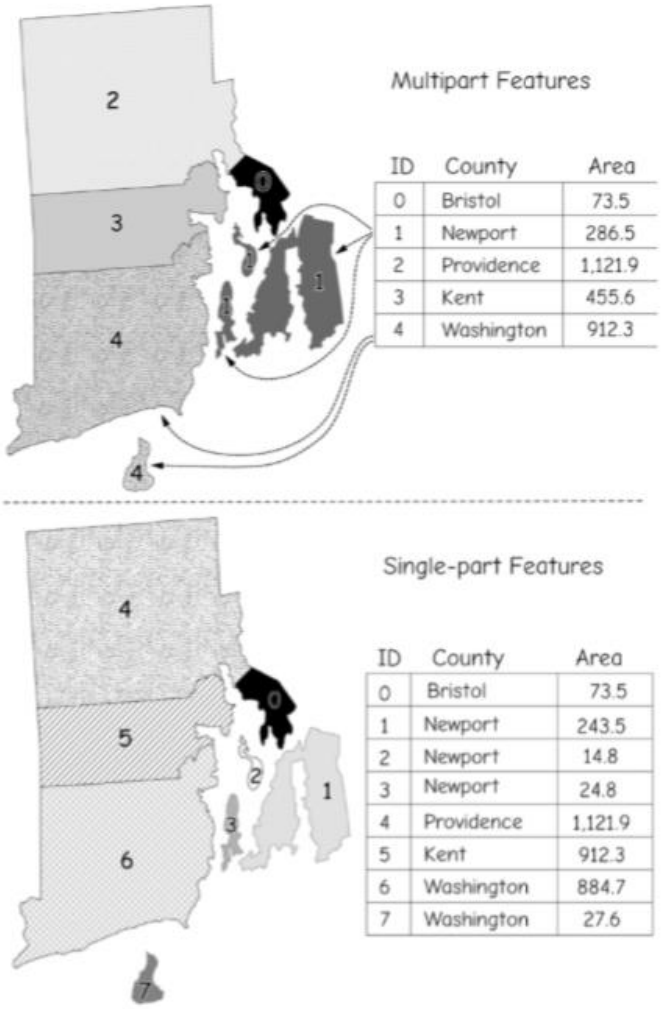


ID	Building Name	Floors	Roof Type
1	Hodson Hall	6.0	flat, sealed tar
2	Borlaug Hall	5.5	pitched 9/12, tile
3	Guilford Technology Bldg.	4.0	flat, gasket
4	Shop Annex	2.5	flat, sealed tar
5	Animal Sciences Bldg.	1.0	pitched 12/12, tile
6	Administration Bldg.	14.0	pitched 6/12, metal
7	Climate Sciences Center	6.0	flat, sealed tar
8	Grantham Tower	1.0	pitched, 9/12, tile
9	Biological Sciences Bldg.	9.0	pitched 12/12, tile

Gambar 2.31: Contoh struktur model data vektor yang paling umum. Fitur geografis sesuai dengan baris dalam tabel dengan pengenal (ID) dan sekumpulan atribut larik dalam kolom.

Setiap kolom memiliki nilai atribut untuk fitur tertentu. Semua nilai dalam kolom memiliki tipe yang sama, jadi untuk kolom tertentu, semua entri mungkin ordinal, atau rasio interval, atau BLOB, atau tipe lain yang ditentukan. Nilai pengenal, atau ID, biasanya disertakan, dan nilai ini

sering kali unik dalam tabel, dengan nilai yang tidak berulang ditetapkan untuk setiap baris dan fitur terkait.

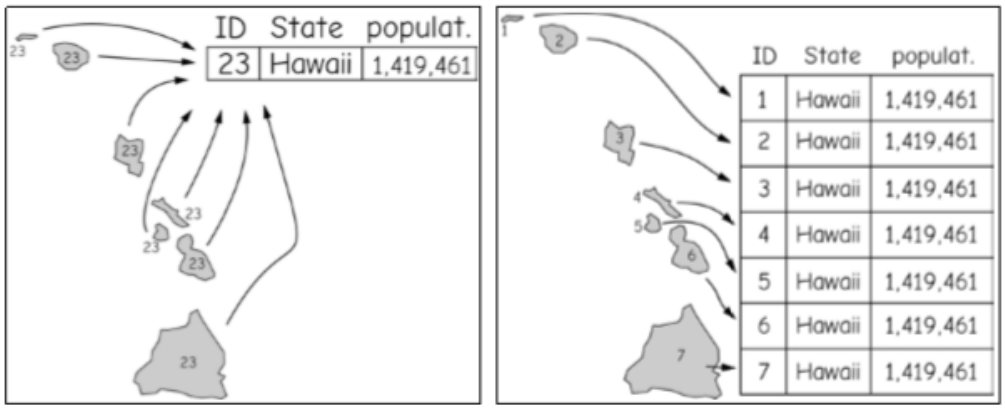


Gambar 2.32: Contoh fitur multi bagian dan satu bagian, ditampilkan dengan satu entri tabel untuk setiap kabupaten (atas), dengan fitur multi bagian dalam satu layer, dan dengan satu entri tabel untuk setiap poligon berbeda (bawah), dengan hanya satu fitur -bagian di layer. Perhatikan bahwa penghitungan, analisis, dan interpretasi mungkin berbeda untuk multi bagian v.s. fitur satu bagian.

Layer vektor terkadang memiliki hubungan "banyak ke satu" antara fitur geografis dan baris tabel. Dalam contoh ini, banyak fitur yang berbeda spasial dicocokkan dengan satu baris, dan atribut baris berlaku untuk semua fitur yang berbeda. Hal ini biasa terjadi saat merepresentasikan pulau, kelompok bangunan, atau kelompok fitur lain yang membentuk "keseluruhan". Ini terkadang disebut sebagai fitur multi-bagian, karena beberapa objek geografis mungkin terkait dengan satu baris.

Fitur multibagian juga dapat digunakan saat ada volume data yang sangat besar, misalnya, saat jutaan pengamatan titik dikumpulkan secara otomatis dengan pemindai laser atau perangkat serupa. Tabel sering kali lebih lambat untuk diproses daripada fitur titik, sehingga mengurangi ukuran tabel dengan mengelompokkan ke dalam fitur multi-bagian dapat mempersingkat banyak operasi.

Perawatan dijamin saat mengubah fitur multi bagian menjadi fitur satu bagian. Masalah paling umum muncul untuk variabel agregat dalam layer poligon, seperti jumlah total. Misalnya, data kependudukan sering kali disampaikan oleh daerah sensus seperti negara bagian. Banyak negara bagian, seperti Hawaii, memiliki beberapa bagian dan diwakili oleh bentuk banyak bagian. Populasi dikaitkan dengan kumpulan poligon gabungan yang sesuai dengan suatu negara bagian. Saat diubah menjadi bentuk satu bagian, atribut sering kali disalin untuk setiap poligon komponen. Dalam contoh kita, semua poligon satu bagian akan diberi nilai atribut untuk fitur multipart, yang berlaku menghitung berulang untuk setiap bagian. Setiap poligon akan memiliki jumlah populasi yang terkait dengannya, sehingga setiap agregasi atau penghitungan berdasarkan populasi kemungkinan besar akan salah, terkadang secara substansial demikian.

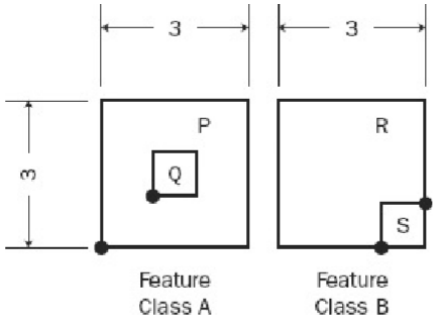


Gambar 2.33: Konversi multi-bagian menjadi satu bagian dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis selanjutnya karena atribut dapat disalin dari cluster multi-bagian asli (kiri, atas), ke setiap komponen satu bagian (kanan atas). Massa jenis, jumlah, atau variabel turunan lainnya sering kali harus dihitung ulang untuk fitur satu bagian, tetapi seringkali tidak, sehingga mengakibatkan kesalahan.

Atribut untuk bentuk yang diubah dapat diperbaiki. Jika data komponen tersedia, mereka dapat ditetapkan ke masing-masing fitur singlepart. Jika tidak, maka beberapa skema pembobotan mungkin tersedia, misalnya jika ada korelasi antara luas dan hitungan. Sampai mereka ditinjau dan disesuaikan dengan tepat, atribut satu bagian yang diturunkan dari fitur multi bagian harus digunakan dengan hati-hati.

2.3.3 Poligon dalam Poligon — Kalkulasi Keliling dan Luas

Dalam merepresentasikan lingkungan alam atau dunia buatan manusia, kita seringkali ingin menggunakan area bidang yang termasuk dalam area bidang lain: danau di suatu daerah, misalnya; pulau di danau; lahan basah yang berada di dalam pulau; dan seterusnya. Seperti yang disebutkan, banyak poligon terputus-putus (yaitu, jika Anda melihat pada area yang dilingkupi oleh poligon, Anda tidak melihat poligon lain), tetapi poligon lainnya seperti bersarang (yaitu saat Anda melihat poligon, Anda melihat poligon lain di dalamnya). Area dari semua poligon ArcGIS saling eksklusif. Masing-masing memiliki identifikasi, pengukuran luas, dan pengukuran keliling. Masing-masing memiliki kumpulan nilai atributnya sendiri. Secara geografis, bagaimanapun, hal itu dapat diatur dalam dua cara yang berbeda. Bayangkan gambar berikut kelas representasi kelas fitur A dan B. Kotak kecil adalah 1 unit di satu sisi.



Gambar 2.34 Jenis poligon bersarang dibandingkan dengan jenis poligon bersebelahan.

Fitur kelas A terdiri dari dua garis dan dua poligon (P dan Q). Poligon Q adalah poligon bersarang terhadap poligon P.

Fitur kelas B terdiri dari tiga garis dan dua poligon (R dan S). Poligon S bukan poligon bersarang. Poligon ini hanyalah suatu area yang terpisah dari poligon R.

Luas poligon P adalah 8 unit persegi, dihitung sebagai ((3 * 3) - (1 * 1)); itu juga luas poligon R. Luas poligon Q adalah 1 unit persegi; itu juga luas poligon S.

Keliling poligon P adalah 16 unit linier. Ini adalah jumlah dari panjang garis yang menentukan bagian luar P (panjang 12) dan panjang garis yang memisahkan poligon bersarang Q (panjang 4). Keliling poligon Q adalah 4 unit.

Keliling poligon R adalah 12 unit linier, terdiri dari dua garis. Keliling poligon S adalah 4 unit, terdiri dari dua garis.

Sekali lagi, poligon dapat disarangkan hingga (hampir) semua kedalaman. Poligon Q misalnya dapat berisi tiga poligon bersarang, salah satunya mungkin berisi lima poligon bersarang, yang masing-masing mungkin berisi 22 poligon bersarang.

Dalam menentukan luas dan keliling ketika poligon bersarang dilibatkan, mungkin dapat menggunakan analogi pedesaan. Anggap Anda beternak llama dan ingin tahu berapa banyak area yang akan tersedia untuk merumput. Jika hewan akan dibatasi pada poligon tertentu, katakanlah X, poligon adalah area tempat hewan dapat berkeliaran, yang tidak termasuk area poligon bersarang.

Pernahkah Anda bertanya-tanya bagaimana komputer “mengetahui” poligon mana tempat kursor mouse Anda berada saat Anda menggunakan alat identifikasi? Anda, tentu saja, dapat melihat kursor dan gambar dan mengetahui di poligon mana kursor berada. Kepala Anda berisi sistem pemrosesan data spasial yang luar biasa. Tapi bagaimana komputer tahu? Jika Anda tertarik dengan penjelasannya, cari informasi (di Internet atau di tempat lain) mengenai “titik dalam poligon”.

2.3.4 Poligon Multibagian

Kelas fitur poligon terdiri dari sekumpulan poligon; setiap poligon mengacu pada luas beberapa permukaan di bumi. Namun, "poligon" ArcGIS dapat terdiri dari beberapa poligon geometris. Misalnya, Anda menginginkan kumpulan data yang menggambarkan area dalam satuan persegi dari semua negara termasuk di Indonesia. Anda dapat menggambarkan dua

jenis area. Pertama, jelas, akan ada batasan yang ditentukan oleh batas negara tradisional, yang membagi lanskap. Untuk menggambarkan luas permukaan pulau memerlukan beberapa poligon, karena perairan di sekitar pulau tersebut tidak dapat dianggap sebagai luas daratan milik negara bagian.

2.3.5 Kumpulan Data Geografis Berbasis Vektor— Konstruksi Logis

Database dan cakupan adalah dua struktur data paling canggih yang digunakan oleh perangkat lunak Esri. Keduanya canggih dalam berbagai cara, seperti yang akan Anda lihat nanti. Konsep cakupan sudah ada sejak beberapa tahun yang lalu dan merupakan dasar dari ArcInfo – garis-garis yang merepresentasikan fitur linier dan poligon yang dipisahkan disebut "busur". Database adalah pengembangan yang lebih baru. Anda akan menghabiskan banyak waktu dan usaha untuk memahami dan bekerja dengan Database. Struktur data cakupan, terus terang, dengan cepat menjadi usang. Rekomendasi saya adalah bahwa para profesional GIS saat ini mengubah cakupan mereka (dan, memang, ada banyak di antaranya) ke struktur file Database. Struktur data lain, shapefile, relatif sederhana, tetapi karena kumpulan data yang beraneka ragam ada dalam bentuk ini, secara nasional dan internasional, ini juga penting. Memahami struktur data geografis sangat penting untuk dapat melakukan beberapa bentuk analisis dengan GIS. Harap dicatat bahwa Anda dapat mengonversi salah satu dari tiga bentuk kumpulan data ini menjadi salah satu lainnya.

Elemen utama kumpulan data berbasis vektor adalah titik (entitas berdimensi nol), garis (entitas satu dimensi), dan poligon (entitas dua dimensi). Istilah yang digunakan dengan semua model data Esri dijelaskan di bagian berikutnya dan saat kita melihat model data tertentu. Gambar yang menunjukkan entitas secara grafis mengikuti pembahasan rinci tentang Database dan shapefile.

2.3.6 Inklusi Poligon dan Generalisasi Batas

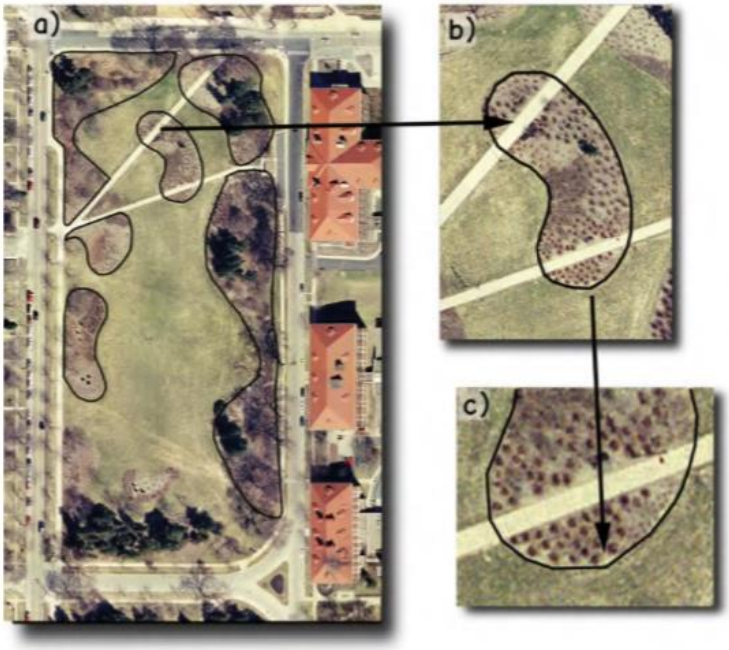
Data vektor sering kali menunjukkan dua karakteristik, inklusi poligon dan generalisasi batas. Karakteristik ini sering diabaikan, tetapi dapat memengaruhi penggunaan data vektor, terkadang dengan konsekuensi yang mengerikan. Konsep-konsep ini harus dipahami, keberadaannya dievaluasi, dan efek dipertimbangkan dalam penggunaan kumpulan data vektor.

Inklusi poligon adalah area dalam poligon yang berbeda dari poligon lainnya, tetapi masih menjadi bagian dari poligon. Inklusi terjadi karena kami biasanya mengasumsikan area yang diwakili oleh poligon adalah homogen, tetapi asumsi ini mungkin salah. Gambar dibawah ini menunjukkan layer poligon vektor yang merepresentasikan tempat tidur lansekap yang ditinggikan, gambar A Atribut umum poligon dapat diberi kode; misalnya, jenis permukaan dapat dicatat sebagai mulsa kayu cedar. Area yang dicatat pada Gambar B menunjukkan jalan setapak yang merupakan inklusi di tempat tidur yang ditinggikan. Jalan setapak ini memiliki permukaan beton. Karenanya, jalan setapak ini merupakan inklusi yang belum terselesaikan dalam poligon.

Satu solusi membuat poligon untuk setiap penyertaan. Hal ini sering tidak dilakukan karena mungkin memerlukan terlalu banyak upaya untuk mengidentifikasi dan mengumpulkan lokasi batas setiap penyertaan, dan biasanya ada beberapa batas bawah, atau unit pemetaan

minimum, pada ukuran objek yang ingin kami catat dalam data kami. Inklusi hadir dalam beberapa bentuk di banyak layer data poligon.

Generalisasi batas adalah representasi lokasi batas yang tidak lengkap. Masalah ini berasal dari cara umum kami merepresentasikan fitur linier dan area dalam kumpulan data vektor. Seperti yang ditunjukkan pada gambar C batas poligon direpresentasikan sebagai satu set segmen garis lurus yang terhubung, pendek. Segmen adalah sarana untuk melacak posisi fitur garis, atau batas yang memisahkan fitur area. Untuk garis lengkung, segmen garis lurus ini dapat dilihat sebagai sampel dari kurva yang sebenarnya, dan biasanya ada beberapa deviasi dari segmen garis tersebut dari batas kurva yang "sebenarnya". Jumlah generalisasi bergantung pada banyak faktor, dan harus sangat kecil sehingga tidak penting untuk tujuan penggunaan data spasial. Namun, karena banyak kumpulan data mungkin memiliki kegunaan yang tidak terduga, atau mungkin diperoleh dari pihak ketiga, generalisasi batas harus dikenali dan dievaluasi relatif terhadap persyaratan khusus dari setiap analisis spasial tertentu. Ada beberapa bentuk generalisasi tambahan dalam data spasial.



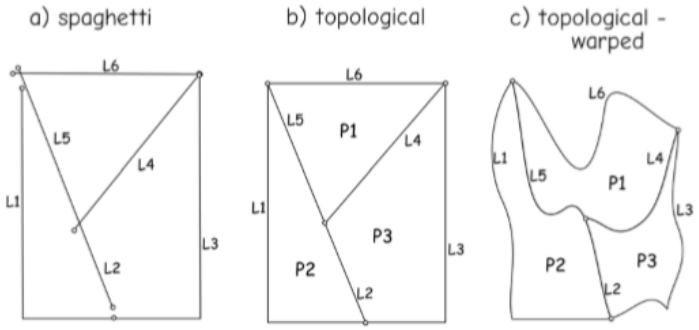
Gambar 2.35: Contoh inklusi poligon (inklusi trotoar di overlay bunga ditunjukkan pada a dan b), dan generalisasi batas (c) dalam model data vektor. Perkiraan ini biasanya terjadi sebagai konsekuensi dari adopsi representasi vektor, dan dampaknya harus dipertimbangkan saat menggunakan data vektor.

2.3.7 Topologi Vektor

Data vektor sering kali berisi topologi vektor, memaksakan konektivitas yang ketat dan merekam kedekatan dan planaritas. Sistem awal menggunakan model data spaghetti di mana garis tidak boleh berpotongan pada saat yang seharusnya, dan mungkin tumpang tindih tanpa sambungan. Model spaghetti sangat membatasi analisis data spasial dan jarang digunakan kecuali untuk entri atau terjemahan data yang sangat mendasar.

Model topologi membuat perpotongan dan menempatkan simpul pada setiap persimpangan garis, merekam konektivitas dan kedekatan, dan memelihara informasi tentang hubungan

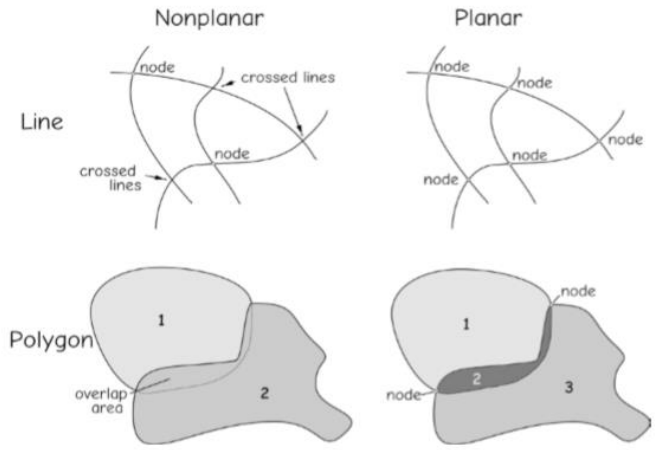
antara dan di antara titik, garis, dan poligon dalam data spasial. Ini sangat meningkatkan kecepatan, akurasi, dan kegunaan banyak operasi data spasial.



Gambar 2.36: Data vektor spageti (a), topologi (b), dan melengkung topologi (c). Gambar b dan c secara topologis identik karena keduanya memiliki konektivitas dan kedekatan yang sama.

Properti topologi dipertahankan saat mengubah data vektor di antara sistem koordinat umum, praktik umum dalam analisis GIS. Kedekatan poligon adalah contoh dari properti invarian topologi, karena daftar tetangga untuk poligon tertentu tidak berubah selama peregangan atau pembengkokan geometrik. Hubungan ini dapat direkam secara terpisah dari data koordinat.

Model vektor topologi dapat bervariasi, dan menerapkan jenis hubungan topologi tertentu. Topologi planar mengharuskan semua fitur terjadi pada permukaan dua dimensi. Tidak boleh ada tumpang tindih antara garis atau poligon pada layer yang sama. Ketika topologi planar diterapkan, garis tidak boleh melewati atau di bawah garis lain. Pada setiap perlintasan garis pasti ada persimpangan.



Gambar 2.37 : Topologi nonplanar dan planar dalam garis dan poligon.

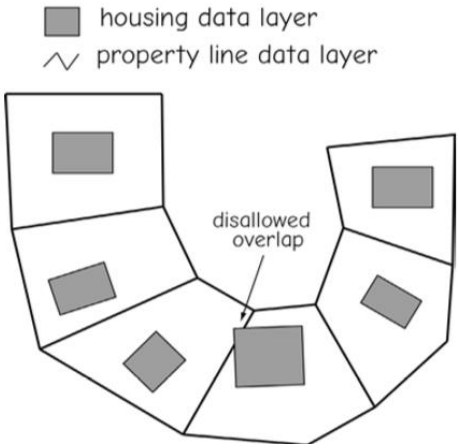
Sisi kiri Gambar diatas menunjukkan grafik nonplanar. Pada gambar kiri atas, empat segmen garis bertepatan. Di beberapa lokasi, garis berpotongan pada sebuah simpul, ditampilkan sebagai lingkaran berwarna putih, tetapi di beberapa lokasi garis melewati atau di bawah ruas garis lain. Garis-garis ini tidak planar. Gambar bagian kanan atas menunjukkan topologi planar

yang diterapkan untuk empat segmen garis yang sama. Simpul ditemukan di setiap persimpangan garis.

Poligon juga bisa nonplanar, seperti yang ditunjukkan di kiri bawah gambar. Dua poligon sedikit tumpang tindih di tepi. Ini mungkin karena kesalahan; misalnya, dua poligon memiliki batas yang sama tetapi telah dicatat dengan tumpang tindih, atau mungkin ada dua area yang tumpang tindih dalam beberapa cara. Jika planaritas topologi diterapkan, kedua poligon ini harus dipecah menjadi tiga poligon terpisah yang tidak tumpang tindih. Node ditempatkan di persimpangan batas poligon.

Ada konstruksi topologi tambahan selain planaritas yang dapat dispesifikasikan. Misalnya, poligon mungkin lengkap, karena tidak ada celah, lubang, atau “pulau” yang diperbolehkan. Arah garis dapat direkam, sehingga simpul “dari” dan “ke” diidentifikasi di setiap baris. Arah membantu representasi jaringan sungai atau jalan, di mana mungkin ada arah aliran alami.

Tidak ada himpunan hubungan topologi tunggal dan seragam yang disertakan dalam semua model data topologi. Vendor yang berbeda telah memasukkan informasi topologi yang berbeda ke dalam struktur data mereka. Topologi planar sering dimasukkan, seperti juga representasi dari kedekatan (poligon di sebelahnya) dan konektivitas (garis mana yang terhubung).



Gambar : Aturan topologi dapat diterapkan di seluruh layer data. Di sini, aturan dapat ditentukan untuk menghindari tumpang tindih antara objek di layer yang berbeda.

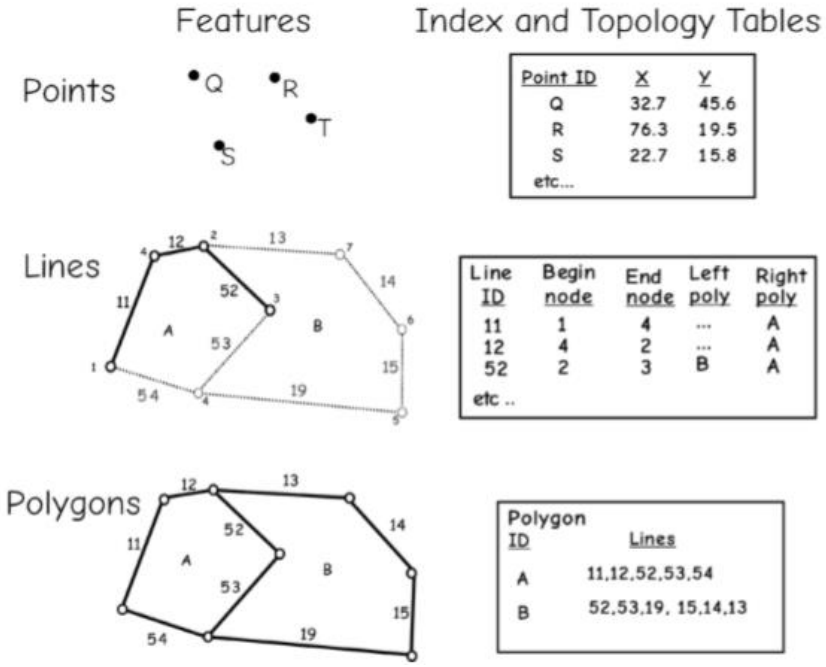
Beberapa perangkat lunak GIS membuat dan memelihara hubungan topologi rinci dalam datanya. Hal ini menghasilkan struktur data yang lebih kompleks dan mungkin lebih besar, tetapi akses seringkali lebih cepat, dan topologi memberikan data yang lebih konsisten dan "lebih bersih". Sistem lain mempertahankan sedikit informasi topologi dalam struktur data, tetapi menghitung dan bertindak berdasarkan topologi sesuai kebutuhan selama pemrosesan tertentu.

Topologi juga dapat ditentukan antar layer, karena kita mungkin ingin menegakkan hubungan spasial antara entitas yang disimpan secara terpisah. Sebagai contoh, pertimbangkan layer data yang menyimpan garis properti (data kadaster), dan layer data perumahan yang menyimpan tapak bangunan. Aturan dapat ditentukan yang mencegah poligon di layer data perumahan dari melintasi garis properti di layer data kadaster. Ini akan menunjukkan sebuah bangunan yang melintasi garis properti. Sebagian besar contoh tersebut terjadi sebagai akibat

dari kesalahan kecil dalam entri data atau ketidaksejajaran di antara layer data. Pembatasan topologi antara dua layer data menghindari ketidakkonsistenan ini. Pengecualian dapat diberikan dalam beberapa kasus ketika sebuah bangunan benar-benar melewati batas properti.

Ada banyak jenis batasan topologi yang mungkin diberlakukan, baik di dalam maupun di antara layer. Menggantung, garis yang tidak terhubung ke jalur lain, mungkin dilarang, atau dibatasi menjadi lebih besar atau kurang dari beberapa panjang ambang batas. Garis dan titik mungkin diperlukan untuk bertepatan, misalnya, pompa air sebagai titik dalam satu layer data dan pipa air sebagai saluran di layer lainnya, atau garis dalam layer terpisah mungkin diperlukan untuk berpotongan atau bertepatan. Meskipun aturan topologi ini menambah kerumitan pada kumpulan data vektor, aturan tersebut juga dapat meningkatkan konsistensi logis dan nilai data ini.

Model vektor topologi sering menggunakan kode dan tabel untuk merekam topologi. Seperti dijelaskan di atas, node adalah titik awal dan akhir dari garis. Setiap node dan baris diberi pengenal unik. Urutan simpul dan garis dicatat sebagai daftar pengenal, dan titik, garis, dan topologi poligon dicatat dalam satu set tabel. Fitur vektor dan tabel pada Gambar dibawah ini mengilustrasikan salah satu bentuk pengkodean topologi ini.



Gambar 2.38 : Contoh fitur vektor dan tabel topologi yang sesuai. Informasi tentang kedekatan, konektivitas, dan hubungan spasial lainnya dapat disimpan dalam tabel topologi, dan digabungkan ke fitur dengan indeks, di sini diwakili oleh nilai di kolom ID.

Banyak sistem perangkat lunak GIS ditulis sedemikian rupa sehingga pengkodean topologi tidak terlihat oleh pengguna, atau dapat diakses secara langsung oleh mereka. Alat disediakan untuk memastikan topologi dibuat dan dipertahankan, yaitu, mungkin ada arahan yang mengharuskan poligon dalam dua layer tidak tumpang tindih, atau untuk memastikan planaritas untuk semua penyeberangan garis. Namun, tabel topologi yang dibuat oleh

perintah ini seringkali cukup besar, kompleks, dan ditautkan dengan cara yang tidak jelas, dan karena itu tersembunyi dari pengguna. Topologi titik seringkali cukup sederhana.

Titik biasanya tidak bergantung satu sama lain, sehingga dapat dicatat sebagai pengenal individu, mungkin dengan koordinat disertakan, dan tanpa urutan tertentu.

Topologi garis biasanya mencakup struktur substansial dan mengidentifikasi setidaknya titik awal dan akhir setiap baris. Variabel mencatat topologi dan dapat diatur dalam sebuah tabel. Variabel ini mungkin termasuk pengenal baris, simpul awal, dan simpul akhir untuk setiap baris. Selain itu, garis dapat diberi arah, dan poligon di kiri dan kanan garis dicatat. Dalam kebanyakan kasus kiri dan kanan didefinisikan dalam kaitannya dengan arah perjalanan dari simpul awal ke simpul akhir.

Topologi poligon juga dapat ditentukan oleh tabel. Tabel mungkin merekam pengenal poligon dan daftar garis terhubung yang mendefinisikan poligon. Garis tepi sering direkam secara berurutan. Garis untuk poligon membentuk loop tertutup dan dengan demikian, simpul awal dari baris pertama dalam daftar juga berfungsi sebagai simpul akhir untuk baris terakhir dalam daftar. Perhatikan bahwa mungkin ada poligon "latar belakang" yang ditentukan oleh area luar. Poligon latar belakang ini bukanlah poligon tertutup seperti yang lainnya; bagaimanapun itu dapat didefinisikan untuk konsistensi dan untuk menyediakan entri dalam tabel topologi.

Model vektor topologi sangat meningkatkan banyak operasi data vektor. Analisis kedekatan direduksi menjadi "pencarian tabel", pengoperasian yang cepat dan mudah di sebagian besar sistem perangkat lunak. Misalnya, seorang analis mungkin ingin mengidentifikasi semua poligon yang berdekatan dengan sebuah kota. Asumsikan kota direpresentasikan sebagai poligon tunggal. Analisis kedekatan berkurang menjadi 1) memindai tabel topologi poligon untuk menemukan poligon berlabel "kota" dan membaca daftar garis yang membatasi poligon, dan 2) memindai daftar garis ini untuk poligon kota, mengumpulkan daftar semua yang tersisa dan poligon kanan. Poligon yang berdekatan dengan kota dapat diidentifikasi dari daftar ini. Pencarian daftar pada tabel topologi biasanya jauh lebih cepat daripada pencarian yang melibatkan data koordinat.

Model vektor topologi juga meningkatkan banyak operasi data spasial lainnya. Analisis jaringan dan konektivitas lainnya berkaitan dengan aliran sumber daya melalui jalur yang ditentukan.

Model vektor topologi secara eksplisit merekam koneksi dari satu set jalur dan memfasilitasi analisis jaringan. Operasi overlay juga ditingkatkan saat menggunakan model vektor topologi. Wilayah interior dan eksterior poligon yang ada dan yang baru harus ditentukan, dan wilayah ini bergantung pada topologi poligon. Oleh karena itu, data topologi berguna dalam banyak analisis spasial.

Model data topologi sering memiliki keuntungan dari ukuran file yang lebih kecil, terutama karena data koordinat direkam satu kali. Misalnya, pendekatan nontopologis sering kali menyimpan batas poligon dua kali. Garis 52 dan 53 di bagian bawah akan direkam untuk poligon A dan poligon B. Batas panjang dan kompleks dalam kumpulan data poligon dapat menggandakan ukurannya. Ini meningkatkan persyaratan penyimpanan dan pemrosesan.

Ada batasan dan kerugian model vektor topologi. Pertama, ada biaya komputasi dalam menentukan struktur topologi dari layer data vektor. Perangkat lunak harus menentukan

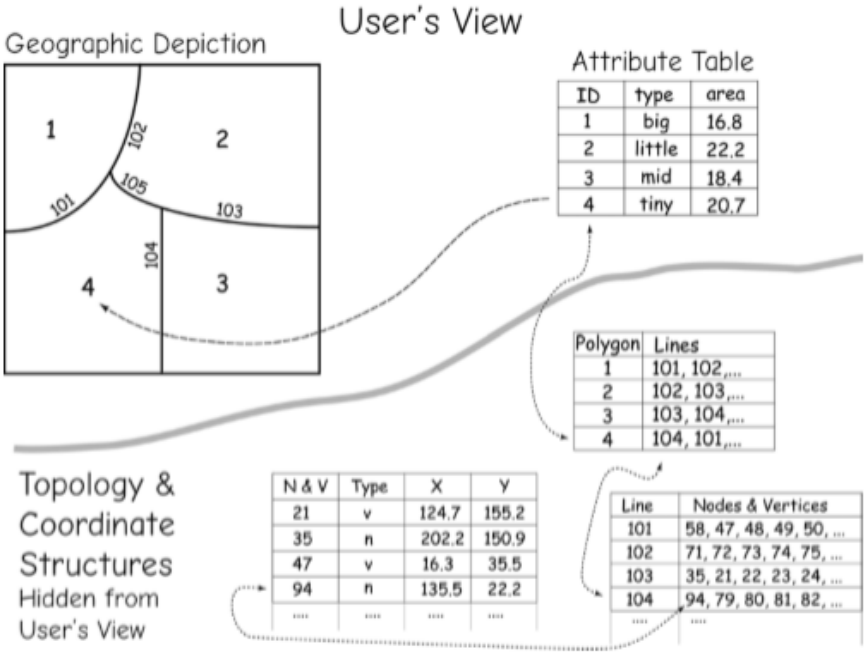
konektivitas dan informasi kedekatan, menetapkan kode, dan membangun tabel topologi. Biaya komputasi biasanya cukup sederhana dengan teknologi komputer saat ini.

Kedua, data harus sangat “bersih”, di mana semua baris harus dimulai dan diakhiri dengan sebuah node, semua baris harus terhubung dengan benar, dan semua poligon harus ditutup. Garis yang tidak berhubungan atau poligon yang tidak tertutup akan menyebabkan kesalahan selama analisis. Upaya manusia yang signifikan mungkin diperlukan untuk memastikan data vektor bersih karena setiap garis dan poligon harus diperiksa. Software dapat membantu dengan menandai atau memperbaiki node "menggantung" yang tidak terhubung ke node lain, dan dengan mengidentifikasi semua poligon secara otomatis. Setiap simpul dan poligon yang menjuntai kemudian dapat diperiksa, dan diedit seperlunya untuk memperbaiki kesalahan.

Keterbatasan dan pengeditan tambahan jauh melebihi keuntungan dalam efisiensi dan kemampuan analitis yang disediakan oleh model vektor topologi. Banyak paket vektor GIS saat ini menggunakan model vektor topologi dalam beberapa bentuk.

2.3.8 Fitur Vektor, Tabel, dan Struktur

Model vektor topologi biasanya digunakan untuk mendefinisikan fitur spasial di layer data. Fitur geografis dikaitkan dengan atribut nonspatial. Biasanya tabel digunakan untuk mengatur atribut, dan ada hubungan antara baris dalam tabel atribut dan komponen spasial dari layer data. Di sebagian besar perangkat lunak SIG, kita dapat dengan mudah melihat tabel dan representasi grafik dari data spasial sebagai tabel terkait dan peta digital.



Gambar 2.39 : Fitur dalam layer data topologi biasanya memiliki hubungan satu-ke-satu dengan entri dalam tabel atribut terkait. Tabel atribut biasanya berisi kolom dengan pengenal unik, atau ID, untuk setiap fitur. Data topologi dan koordinat sering kali disembunyikan dari pengguna, tetapi ditautkan ke atribut dan fitur geografis melalui penunjuk dan variabel indeks, yang dijelaskan di bagian Struktur Data dan File.

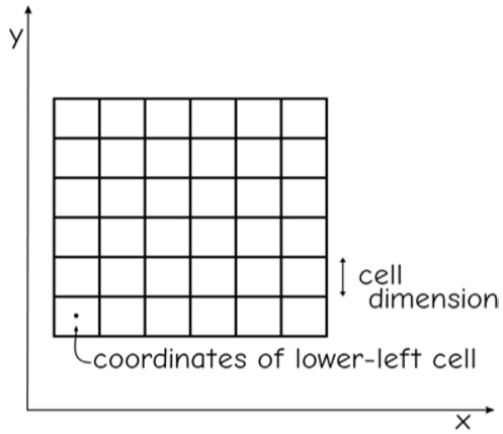
Biasanya ada hubungan satu-ke-satu antara setiap entri dalam tabel atribut dan setiap fitur di layer data. Artinya untuk setiap fitur di layer data hanya ada satu entri di tabel atribut. Terkadang mungkin ada layer dengan hubungan banyak ke satu antara entri tabel atribut dan beberapa fitur di layer data.

Kebanyakan GIS menggunakan struktur file yang mendasari untuk mengatur komponen data spasial. Contoh organisasi ditunjukkan di gambar bagian bawah, di mana elemen topologi dicatat dalam satu set tabel yang terhubung, di sini, masing-masing untuk poligon, garis, dan simpul dan simpul. Sebagian besar GIS memelihara data spasial dan topologi sebagai satu atau kumpulan file terkait. Struktur file internal ini sering diisolasi dari manipulasi langsung oleh pengguna GIS, tetapi mendasari hampir semua manipulasi data spasial. Seorang pengguna dapat secara langsung mengedit atau memanipulasi nilai tabel, biasanya dengan pengecualian ID, dan data topologi dan koordinat yang mendasarinya diakses melalui permintaan untuk menampilkan, mengubah, atau menganalisis komponen data spasial. Layer data juga dapat mencakup informasi tambahan (tidak ditampilkan) tentang asal, cakupan wilayah, tanggal pembuatan, riwayat edit, sistem koordinat, atau karakteristik lain dari kumpulan data.

Perhatikan bahwa tidak semua GIS menyimpan data koordinat dan topologi dalam struktur file non-tabular. Koordinat, titik, garis, poligon, dan fitur komposit lainnya dapat disimpan dalam tabel yang mirip dengan tabel atribut. Komputer yang lebih cepat mendukung pendekatan yang umumnya lebih fleksibel ini, memungkinkan akses yang lebih sederhana dan lebih transparan di berbagai jenis perangkat lunak GIS

2.4 Model Data Raster

Model dan Sel Model data raster mendefinisikan dunia sebagai sekumpulan sel biasa dalam pola kisi. Biasanya sel-sel ini berbentuk persegi dan berjarak sama di arah x dan y. Fenomena atau entitas yang menarik diwakili oleh nilai atribut yang terkait dengan setiap lokasi sel.



Gambar 2.40 : Karakteristik penentu penting dari model data raster.

Model data raster adalah cara alami untuk merepresentasikan fitur atau fenomena spasial yang "berkelanjutan". Ketinggian, curah hujan, kemiringan, dan konsentrasi polutan adalah contoh variabel spasial kontinu. Variabel-variabel ini secara khas menunjukkan perubahan nilai yang signifikan di wilayah yang luas. Gradiennya bisa sangat curam (misalnya, di tebing), landai (panjang, punggung bukit miring), atau cukup bervariasi (perbukitan). Model data raster menggambarkan gradien ini dengan perubahan nilai yang terkait dengan setiap sel.

Kumpulan data raster memiliki dimensi sel, menentukan panjang tepi untuk setiap sel persegi. Misalnya, dimensi sel dapat ditentukan sebagai persegi 30 meter di setiap sisi. Sel biasanya diorientasikan sejajar dengan arah x dan y, dan koordinat lokasi sudut ditentukan.

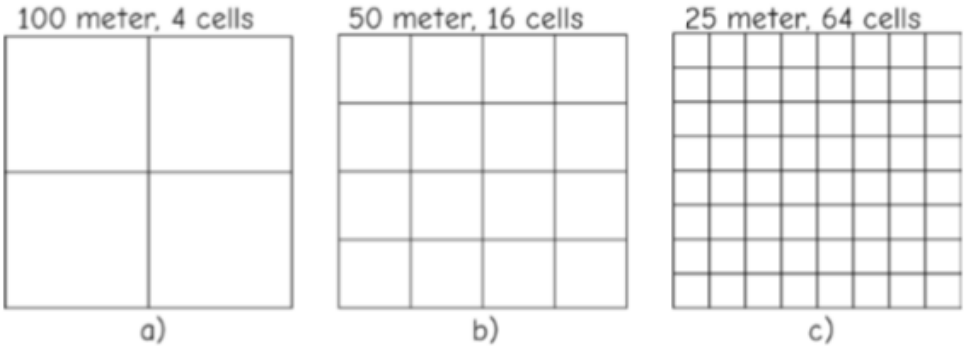
Saat sel berbentuk persegi dan sejajar dengan sumbu koordinat, penghitungan lokasi sel adalah proses penghitungan dan perkalian yang sederhana. Lokasi sel dapat dihitung dari ukuran sel, koordinat sudut yang diketahui, dan nomor baris dan kolom sel. Misalnya, jika kita mengetahui koordinat sel kiri bawah, semua koordinat sel lainnya dapat ditentukan dengan rumus:

$$N_{cell} = N_{lower\text{-}left} + row * cell\ size$$

$$E_{cell} = E_{lower\text{-}left} + coloumn*cell\ size$$

dimana N adalah koordinat arah utara (y), E adalah koordinat arah timur (x), dan baris dan kolom dihitung mulai dari nol dari sel kiri bawah.

Seringkali ada trade-off antara detail spasial dan volume data dalam kumpulan data raster. Jumlah sel yang dibutuhkan untuk menutupi area tertentu meningkat empat kali lipat bila ukuran sel dipotong menjadi dua. Sel yang lebih kecil memberikan detail spasial yang lebih besar, tetapi dengan mengorbankan kumpulan data yang lebih besar.



Gambar 2.41 : Jumlah sel dalam kumpulan data raster bergantung pada ukuran sel. Untuk area tertentu, penurunan linier dalam ukuran sel menyebabkan peningkatan eksponensial dalam jumlah sel, misalnya, membagi dua ukuran sel menyebabkan peningkatan empat kali lipat dalam jumlah sel.

Dimensi sel juga mempengaruhi ketepatan spasial dari kumpulan data, dan karenanya keakuratan posisi. Koordinat sel biasanya ditentukan pada titik di tengah sel. Koordinat berlaku untuk seluruh area yang dicakup oleh sel. Akurasi posisi biasanya diharapkan tidak lebih baik dari kira-kira setengah ukuran sel. Tidak peduli lokasi sebenarnya dari suatu fitur, koordinat dipotong atau dibulatkan ke koordinat pusat sel terdekat. Dengan demikian, ukuran sel tidak boleh lebih dari dua kali akurasi dan presisi yang diinginkan untuk layer data yang direpresentasikan dalam raster, dan seringkali ditentukan agar lebih kecil.

Setiap sel raster mewakili area tertentu di tanah dan diberi nilai yang mungkin dianggap berlaku untuk seluruh sel. Jika variabel seragam di seluruh sel raster, nilainya akan benar di atas sel. Namun, dalam sebagian besar kondisi terdapat variasi di dalam sel, dan nilai raster sel mewakili nilai rata-rata, pusat, atau paling umum yang ditemukan di dalam sel. Pertimbangkan kumpulan data raster yang mewakili pendapatan mingguan tahunan dengan

dimensi sel 300 meter (980 kaki) pada satu sisi. Selanjutnya anggaplah ada sel raster dengan nilai 710. Seluruh area 300 x 300 meter dianggap memiliki nilai 710 peso per minggu. Mungkin ada banyak rumah tangga dalam sel raster yang tidak berpenghasilan tepat 710 peso per minggu. Namun, 710 peso mungkin merupakan nilai rata-rata, titik tertinggi, atau nilai representatif lainnya untuk area yang dicakup oleh sel. Meskipun sel raster sering mewakili rata-rata atau nilai yang diukur di tengah sel, sel tersebut juga dapat mewakili median, maksimum, atau statistik lain untuk area sel.

Interpretasi alternatif dari sel raster menerapkan nilai ke titik pusat sel. Pertimbangkan kisi raster yang berisi nilai ketinggian. Sel dapat ditentukan sebagai 200 meter persegi, dan nilai ketinggian ditetapkan untuk setiap persegi. Sel dengan nilai 8000 meter (26.200 kaki) dapat diasumsikan memiliki nilai tersebut di tengah sel, tetapi nilai ini tidak akan dianggap berlaku untuk seluruh sel.

Model data raster juga dapat digunakan untuk merepresentasikan data diskrit, misalnya, untuk merepresentasikan tutupan lahan di suatu wilayah. Sel raster biasanya memiliki karakter alfabet numerik atau penghapus tunggal. Skema pengkodean menentukan jenis tutupan lahan apa yang ditandakan oleh nilai-nilai diskrit. Setiap kode dapat ditemukan di banyak sel raster.

a	a	a	a	r	f	f	a	a	a	a	a
a	a	a	a	r	f	f	a	a	a	a	a
a	a	a	f	r	f	f	a	a	a	a	a
a	a	a	r	r	f	f	a	a	a	a	a
a	a	a	r	f	f	f	a	a	a	a	a
a	f	f	r	f	f	f	a	a	a	a	a
a	f	f	r	f	u	f	a	a	a	a	a
h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
f	f	r	u	u	u	u	a	a	a	a	a
f	f	r	f	u	u	a	a	a	a	a	a
f	f	f	r	f	f	a	a	a	a	a	a
f	f	f	f	r	f	a	a	a	a	a	a

a = agriculture u = developed
f = forest r = river
h = highways

Gambar 2.42: Data diskrit atau kategorikal dapat diwakili oleh kode-kode dalam layer data raster.

Nilai sel raster dapat ditetapkan dan diinterpretasikan setidaknya dalam tujuh cara berbeda. Kami telah mendeskripsikan tiga: sel raster sebagai nilai fisik titik (ketinggian), sebagai nilai statistik (pendapatan rata-rata), dan sebagai data diskrit (tutupan lahan). Nilai raster juga dapat digunakan untuk mewakili poin dan baris, sebagai ID dari garis atau titik yang muncul paling dekat dengan pusat sel.

Tabel 2.1 Jenis data yang diwakili oleh nilai sel raster

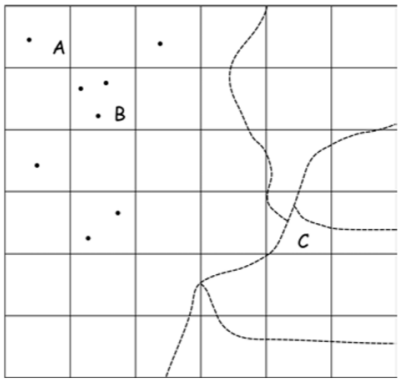
Jenis Data	Deskripsi	Contoh
Point ID	ID alfanumerik dari titik terdekat	Rumah sakit
line ID	ID alfanumerik dari jalur terdekat	jalan terdekat

contiguous region ID	ID alfanumerik untuk wilayah dominan	jenis vegetasi
class code	ID alfanumerik untuk kelas umum	negara
table ID	posisi numerik dalam tabel	baris
physical analog	nilai numerik yang mewakili nilai permukaan	ketinggian
statistic value	nilai numerik dari fungsi statistik	kepadatan penduduk

Penetapan titik dan garis ke sel raster mungkin rumit bila ada beberapa fitur dalam satu sel. Misalnya, ketika tiang lampu direpresentasikan dalam layer data raster, penetapan nilai sel langsung dilakukan jika hanya ada satu cahaya dalam sel. Ketika ada beberapa kutub dalam satu sel, ada beberapa ambiguitas, atau generalisasi dalam tugas. Satu solusi umum mewakili satu fitur dari grup, dan mempertahankan informasi tentang atribut dan karakteristik fitur tersebut. Ini memerlukan beberapa kehilangan data. Solusi lain adalah mengurangi ukuran sel raster sehingga tidak ada banyak fitur dalam sel. Ini dapat menghasilkan kumpulan data yang besar secara tidak praktis. Skema yang lebih kompleks dapat merekam beberapa contoh fitur dalam sebuah sel, tetapi ini kemudian dapat memperlambat akses atau menurunkan utilitas yang berasal dari struktur raster sederhana.

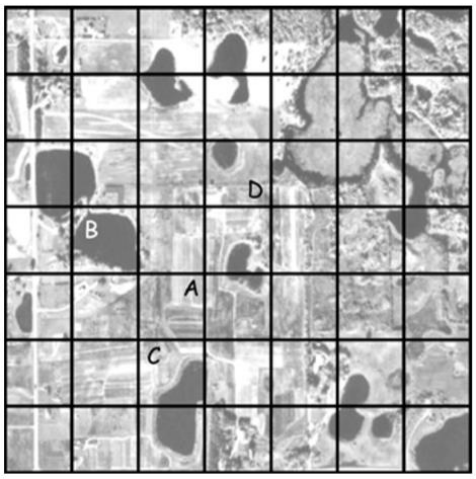
Masalah serupa dapat terjadi jika ada beberapa segmen garis dalam sel raster, misalnya, saat fitur linier seperti jalan direpresentasikan dalam kumpulan data raster. Ketika dua atau lebih jalan bertemu, mereka akan melakukannya dalam sel raster, dan beberapa set atribut harus ditetapkan. Karena atribut ditetapkan oleh sel, beberapa prioritas harus ditetapkan, dengan satu baris diberikan prioritas di atas yang lain.

Penetapan sel raster juga mungkin rumit saat merepresentasikan apa yang biasanya kita anggap sebagai area diskrit dan seragam. Pertimbangkan luas pada. Kami ingin mewakili area ini dengan layer data raster dengan sel yang ditetapkan ke salah satu dari dua kode kelas, masing-masing untuk tanah atau air. Badan air muncul sebagai area yang lebih gelap pada gambar, dan kisi raster ditampilkan tumpang tindih. Sel dapat berisi area tanah dan air yang substansial, dan proporsi setiap kelas dapat berkisar dari nol hingga 100 persen. Beberapa sel murni satu kelas dan tugasnya tidak ambigu. Lainnya tidak ambigu, seperti sel B (air) atau D (tanah). Beberapa hampir sama dalam proporsi tanah dan air, seperti pada sel C.



Gambar 2.43: Penugasan sel raster membutuhkan keputusan saat beberapa objek terjadi dalam sel yang sama.

Salah satu metode umum untuk menetapkan kelas untuk sel campuran disebut "pemenang-ambil-semua". Sel diberi kelas untuk tipe area terbesar. Sel A, C, dan D akan diberi kelas tanah, sel B untuk kelas air. Opsi lain menerapkan preferensi dalam penetapan sel. Jika salah satu tipe "penting" ditemukan, maka sel diberi nilai itu, terlepas dari proporsinya.



Gambar 2.44: Penugasan sel raster dengan lanskap campuran. Daerah dataran tinggi berwarna abu-abu terang, sirami abu-abu paling gelap.

Terlepas dari metode penugasan yang digunakan, Gambar diatas mengilustrasikan dua fenomena ketika objek diskrit direpresentasikan menggunakan model data raster. Pertama, beberapa area yang bukan kelas yang ditetapkan disertakan dalam beberapa sel raster. "Inklusi" ini tidak dapat dihindari karena sel harus ditetapkan ke kelas diskrit, batas sel ditetapkan secara kaku, dan batas kelas di lapangan jarang sejajar dengan batas sel. Beberapa sel campuran terjadi di hampir semua layer raster. Pengguna GIS harus mengakui inklusi ini, dan mempertimbangkan dampaknya terhadap analisis spasial yang dimaksudkan.

Kedua, perbedaan dalam aturan penugasan kelas dapat mengubah layer data secara substansial, seperti yang ditunjukkan dalam contoh sederhana kami. Dalam lanskap yang lebih kompleks, akan ada lebih banyak jenis sel potensial, yang dapat meningkatkan sensitivitas penetapan. Mengurangi ukuran sel raster mengurangi signifikansi kelas dalam aturan penugasan, tetapi dengan biaya volume data yang meningkat.

Terjadinya lebih dari satu baris atau titik dalam sel raster dapat menghasilkan masalah tugas yang serupa. Jika dua poin terjadi, lalu ID poin mana yang ditetapkan? Jika dua baris muncul, lalu ID baris mana yang harus ditetapkan? Beberapa aturan harus dikembangkan; misalnya, titik yang paling dekat dengan pusat dapat ditetapkan, atau garis dengan segmen terpanjang dalam sel raster. Mirip dengan saat fitur area ditetapkan ke raster, "inklusi" dan ketergantungan pada aturan penugasan kelas memengaruhi output.

2.4.1 Fitur Raster dan Tabel Atribut

Layer raster mungkin juga memiliki tabel atribut terkait. Ini paling umum ketika data nominal diwakili, tetapi dapat juga digunakan dengan data ordinal atau interval / rasio. Sama seperti data vektor topologi, fitur dalam layer raster dapat dihubungkan ke baris dalam tabel atribut, dan baris ini dapat menjelaskan karakteristik nonspatial penting dari fitur tersebut.

a) Raster, one-to-one

A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
A	A	A	C	C	B	B	B	B	B
C	C	C	C	C	D	D	D	D	D
C	C	C	C	C	D	D	D	D	D
C	C	C	C	C	D	D	D	D	D
C	C	C	C	C	D	D	D	E	E
C	C	C	C	C	D	D	E	E	E

attribute table
(cell 1 is upper-left corner)

cell-ID	IDorg	class	area
1	A	10	0.8
2	A	10	0.8
3	A	10	0.8
4	A	10	0.8
5	B	11	0.8
6	B	11	0.8
7	B	11	0.8
⋮	⋮	⋮	⋮
100	E	10	0.8

b) Raster, many-to-one

10	10	10	10	11	11	11	11	11	11
10	10	10	10	11	11	11	11	11	11
10	10	10	10	11	11	11	11	11	11
10	10	10	11	11	11	11	11	11	11
10	10	10	15	15	11	11	11	11	11
15	15	15	15	15	21	21	21	21	21
15	15	15	15	15	21	21	21	21	21
15	15	15	15	15	21	21	21	21	21
15	15	15	15	15	21	21	21	10	10
15	15	15	15	15	21	21	10	10	10

attribute table

class	area
10	18.4
11	24.0
15	21.6
21	13.6

Gambar 2.45 : Model data raster jarang mempertahankan hubungan satu-ke-satu ini antara sel dan atribut (a), karena akses tabel dan kinerja biasanya terganggu. Hubungan banyak ke satu antara sel dan baris tabel diadopsi lebih sering (b).

Gambar a dan b menunjukkan data yang direpresentasikan dalam model raster. Gambar a menunjukkan kumpulan data raster yang mempertahankan hubungan satu-ke-satu antara sel raster dan dalam tabel data. Kolom tambahan, ID seluler harus ditambahkan untuk mengidentifikasi setiap lokasi raster secara unik. Atribut terkait IDorg, class, dan area diulangi untuk setiap sel. Perhatikan bahwa nilai area sama untuk semua sel dan dengan demikian semua baris dalam tabel.

Korespondensi satu-ke-satu jarang digunakan dengan kumpulan data raster karena sering kali membutuhkan ukuran tabel atribut yang sangat besar. Contoh kecil ini menghasilkan 100 baris untuk tabel atribut, tetapi kami sering menggunakan kumpulan data raster dengan miliaran sel. Jika kita bersikeras pada hubungan sel / atribut satu-ke-satu, tabel mungkin menjadi terlalu besar. Bahkan proses sederhana seperti mengurutkan, mencari, atau membuat subset rekaman menjadi sangat memakan waktu. Tingkat tampilan dan gambar ulang menjadi rendah, mengurangi kegunaan data ini, dan mengurangi kemungkinan penerapan GIS secara efektif.

Untuk menghindari masalah ini, hubungan banyak-ke-satu biasanya diperbolehkan antara sel raster dan tabel atribut (gambar 2.45b). Banyak sel raster dapat merujuk ke satu baris di kolom atribut. Ini secara substansial mengurangi ukuran tabel atribut untuk sebagian besar kumpulan data meskipun hal itu dilakukan dengan mengorbankan beberapa ambiguitas spasial. Mungkin ada beberapa patch yang tidak bersebelahan untuk tipe tertentu. Misalnya, bagian kiri atas dan kanan bawah dari kumpulan data raster pada Gambar b keduanya berkelas 10. Keduanya dikenali sebagai fitur berbeda dalam vektor dan representasi raster satu-ke-satu,

tetapi diwakili oleh hal yang sama entri atribut dalam representasi raster banyak-ke-satu. Ini mengurangi ukuran tabel atribut, tetapi dengan mengorbankan fleksibilitas tabel atribut. Hubungan banyak-ke-satu secara efektif membuat area multi-bagian. Data untuk variabel yang diwakili dapat diringkas berdasarkan kelas; Namun, kelas-kelas ini mungkin atau mungkin tidak bersebelahan secara spasial.

Alternatifnya adalah mempertahankan hubungan satu-ke-satu, tetapi mengindeks semua sel raster dalam grup yang berdekatan, sehingga mengurangi jumlah baris dalam tabel atribut. Ini membutuhkan perangkat lunak untuk mengembangkan dan memelihara indeks, dan untuk membuatnya serta menyusun kembali pengindeksan setelah operasi spasial. Skema pengindeksan ini menambah overhead dan meningkatkan kompleksitas model data, sehingga menghilangkan salah satu keunggulan kumpulan data raster dibandingkan kumpulan data vektor.

2.4.2 Perbandingan Model Data Raster dan Vektor

Pertanyaan yang sering muncul, “Manakah yang lebih baik, model data raster atau vektor?” Jawabannya adalah keduanya. Tak satu pun dari kedua kelas model data ini lebih baik di semua kondisi atau untuk semua data. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan relatif satu sama lain dan model data tambahan yang lebih kompleks. Dalam beberapa kasus, lebih baik menyimpan data dalam model raster, dan dalam model vektor lainnya. Sebagian besar data dapat direpresentasikan di keduanya, dan dapat dikonversi di antara model data. Sebagai contoh, tutupan lahan dapat direpresentasikan sebagai kumpulan poligon dalam model data vektor atau sebagai kumpulan pengidentifikasi di setiap sel dalam kisi raster. Pilihannya sering kali bergantung pada sejumlah faktor, termasuk jenis data utama (diskrit atau kontinu), jenis analisis yang diharapkan, penyimpanan yang tersedia, sumber utama data masukan, dan keahlian operator manusia.

Tabel 2.2 Perbandingan model data vektor dan raster

Karakteristik	**Raster**	**Vektor**
Struktur data	Biasanya simpel	Biasanya kompleks
persyaratan penyimpanan	lebih besar untuk sebagian besar kumpulan data tanpa kompresi	Lebih kecil untuk sebagian data set
konversi koordinat	mungkin lambat karena volume data, dan memerlukan pengambilan sampel ulang	Simpel
analisis	mudah untuk data berkelanjutan, sederhana untuk banyak kombinasi lapisan	Lebih disukai untuk analisis jaringan internet, banyak operasi spasial lainnya yang lebih kompleks
presisi spasial	lantai diatur oleh ukuran sel	terbatashanya pada pengukuran posisi
Aksebilitas	mudah dimodifikasi atau diprogram, karena struktur datanya sederhana	Biasanya kompleks

display dan output	bagus untuk gambar atau program, tetapi fitur diskrit mungkin menunjukkan tepi "tangga"	Seperti peta, dengan kurva yang berk+A18:C19elanjutan, minim gambar

Model data raster menunjukkan beberapa keunggulan relatif terhadap model data vektor. Pertama, model data raster sangat cocok untuk merepresentasikan tema atau fenomena yang sering berubah dalam ruang. Setiap sel raster mungkin berisi nilai yang berbeda dari tetangganya. Dengan demikian tren serta variabilitas yang lebih cepat dapat diwakili.

Struktur data raster umumnya lebih sederhana daripada model data vektor, terutama jika ukuran sel tetap digunakan. Sebagian besar model raster menyimpan sel sebagai kumpulan baris, dengan sel diatur dari kiri ke kanan, dan baris disimpan dari atas ke bawah. Organisasi ini cukup mudah untuk membuat kode dalam struktur array di sebagian besar bahasa komputer.

Model data raster juga memfasilitasi overlay yang mudah, setidaknya relatif terhadap model vektor. Setiap sel raster dalam sebuah layer menempati posisi tertentu yang sesuai dengan lokasi tertentu di permukaan bumi. Data di layer yang berbeda menyelaraskan sel-ke-sel di atas posisi ini. Jadi, overlay melibatkan penempatan sel grid yang diinginkan di setiap layer data dan membandingkan nilai yang ditemukan untuk lokasi sel tertentu. Pencarian sel ini cukup cepat di sebagian besar struktur data raster, dan dengan demikian overlay layer cukup sederhana dan cepat saat menggunakan model data raster.

Terakhir, struktur data raster adalah metode paling praktis untuk menyimpan, menampilkan, dan memanipulasi data *gambar* digital, seperti foto udara dan *gambar* satelit. Data *gambar* digital merupakan sumber informasi penting saat membangun, melihat, dan menganalisis database spasial. Tampilan dan analisis gambar didasarkan pada operasi raster untuk mempertajam detail pada gambar, menentukan kecerahan, kontras, dan warna untuk tampilan, dan untuk membantu ekstraksi informasi.

Model data vektor memberikan beberapa keuntungan relatif terhadap model data raster. Pertama, model vektor sering kali menghasilkan penyimpanan data yang lebih ringkas, terutama untuk objek diskrit. Daerah homogen yang besar dicatat oleh batas koordinat dalam model data vektor. Daerah ini dicatat sebagai sekumpulan sel dalam model data raster. Perimeter tumbuh lebih lambat daripada area untuk sebagian besar bentuk fitur, sehingga jumlah data yang diperlukan untuk mewakili suatu area meningkat jauh lebih cepat dengan model data raster. Data vektor jauh lebih ringkas daripada data raster untuk sebagian besar tema dan tingkat detail spasial.

Data vektor adalah cara yang lebih alami untuk merepresentasikan jaringan dan fitur linier terhubung lainnya. Data vektor menurut sifatnya menyimpan informasi pada persimpangan (node) dan keterkaitan di antara mereka (garis). Volume lalu lintas, kecepatan, waktu, dan faktor lainnya dapat dikaitkan dengan garis dan persimpangan untuk memodelkan berbagai jenis jaringan.

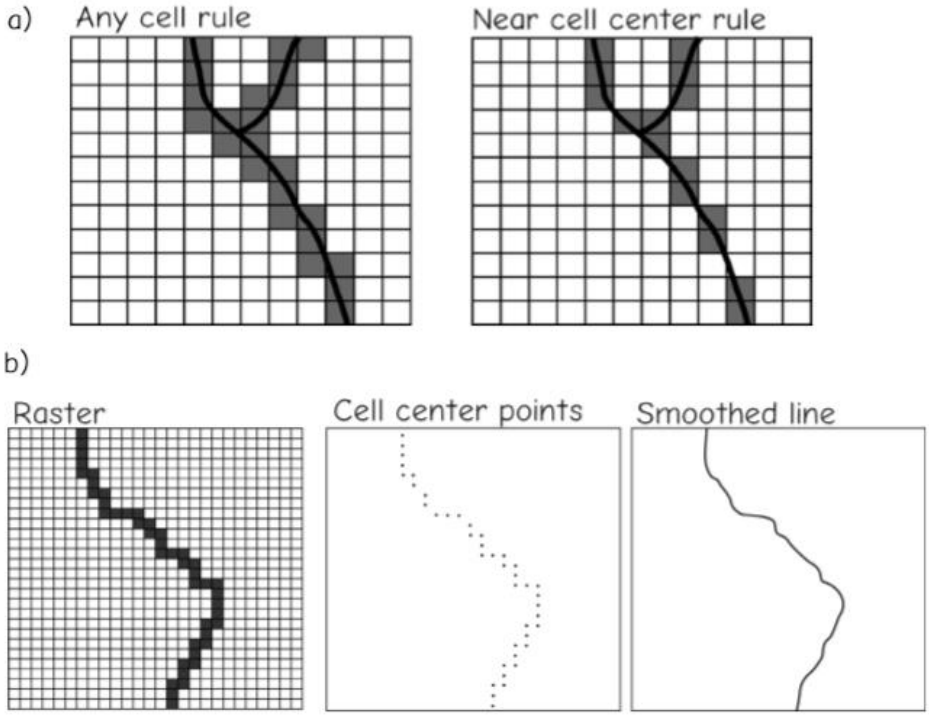
Model data vektor dengan mudah disajikan dalam format peta yang disukai. Manusia terbiasa dengan garis kontinu dan representasi kurva bulat dalam peta yang digambar dengan tangan

atau mesin, dan peta berbasis vektor menunjukkan kurva ini. Data raster sering kali menunjukkan tepi "tangga" untuk batas melengkung, terutama jika resolusi sel relatif besar terhadap resolusi di mana raster ditampilkan. Data vektor dapat diplot dengan garis kontinu dan tepi bulat yang lebih menarik secara visual.

Model data vektor memfasilitasi penghitungan dan penyimpanan informasi topologi. Informasi topologi membantu dalam melakukan kedekatan, konektivitas, dan analisis lainnya dengan cara yang efisien. Informasi topologi juga memungkinkan beberapa bentuk kesalahan otomatis dan deteksi ambiguitas, yang mengarah pada kualitas data yang lebih baik.

2.4.3 Konversi Antara Model Raster dan Vektor

Data spasial dapat dikonversi antara model data raster dan vektor. Konversi vektor-ke-raster melibatkan penetapan nilai sel untuk setiap posisi yang ditempati oleh fitur vektor. Fitur titik vektor biasanya diasumsikan tidak memiliki dimensi. Titik dalam kumpulan data raster harus diwakili oleh nilai dalam sel raster, sehingga titik memiliki setidaknya dimensi sel raster setelah konversi dari model vektor ke raster. Titik biasanya ditetapkan ke sel yang berisi koordinat titik. Sel tempat titik berada diberi nomor atau kode lain yang mengidentifikasi fitur titik yang terjadi di lokasi sel. Jika ukuran sel terlalu besar, dua atau lebih titik vektor mungkin berada dalam sel yang sama, dan pengenal sel ambigu ditetapkan, atau skema penomoran dan penetapan yang lebih kompleks diterapkan. Biasanya ukuran sel dipilih sedemikian rupa sehingga dimensi sel diagonal lebih kecil dari jarak antara dua fitur titik terdekat.



Gambar 2.46: Konversi vektor-ke-raster (a) dan konversi raster-ke-vektor (b). Dalam a, sel ditetapkan dalam raster jika berpotongan dengan vektor yang dikonversi. Panel kiri dan kanan menunjukkan bagaimana dua aturan penetapan menghasilkan kode raster yang berbeda di dekat garis. Panel di b menunjukkan bagaimana data raster dapat diubah ke format vektor, dan mungkin melibatkan penghalusan garis atau operasi lain untuk menghilangkan efek "tangga-langkah".

Fitur garis vektor di layer data juga dapat diubah menjadi model data raster. Sel raster dapat diberi kode menggunakan kriteria yang berbeda. Satu metode sederhana memberikan nilai ke sel jika garis vektor berpotongan dengan bagian mana pun dari sel (Gambar a bagian kiri). Ini memastikan pemeliharaan jalur yang terhubung dalam bentuk data raster. Aturan penetapan ini sering mengarah ke garis yang lebih lebar dari garis yang sesuai karena beberapa sel yang berdekatan dapat ditetapkan sebagai bagian dari garis, terutama ketika garis berkelok-kelok di dekat tepi sel. Aturan penetapan lain dapat diterapkan, misalnya, menetapkan sel sebagai ditempati oleh garis hanya ketika pusat sel dekat dengan segmen garis vektor (Gambar a bagian kanan). “Dekat” dapat didefinisikan sebagai jarak sub-sel, misalnya, 1/3 dari lebar sel. Garis yang melewati sudut sel tidak akan direkam seperti di dalam sel. Hal ini dapat menyebabkan fitur linier yang lebih tipis dalam kumpulan data raster, tetapi seringkali dengan mengorbankan garis putus-putus.

Output dari konversi vektor-ke-raster bergantung pada algoritme yang digunakan, meskipun Anda menggunakan masukan yang sama. Ini menampilkan poin penting untuk diingat saat menerapkan operasi spasial apa pun. Outputnya seringkali bergantung secara halus pada operasi spasial. Apa yang tampak sebagai perbedaan yang cukup kecil dalam algoritme atau parameter penentu kunci dapat memberikan hasil yang sangat berbeda. Kemudahan manipulasi spasial dalam GIS menyediakan seperangkat alat yang kuat dan sering kali mudah digunakan. Pengguna GIS harus mengingat bahwa alat ini dapat lebih efisien dalam menghasilkan kesalahan serta lebih efisien dalam memberikan hasil yang benar. Hingga pengalaman yang memadai diperoleh dengan rangkaian algoritme, dalam hal ini konversi vektor-ke-raster, pengujian kecil dan terkontrol harus dilakukan untuk memverifikasi keakuratan metode tertentu atau kumpulan parameter penghambat.

Sampai saat ini kami telah membahas konversi data vectorto-raster. Data juga dapat diubah ke arah yang berlawanan, dari data raster ke vektor. Fitur titik, garis, atau area yang diwakili oleh sel raster diubah menjadi koordinat dan struktur data vektor yang sesuai. Fitur titik direpresentasikan sebagai sel raster tunggal. Setiap fitur titik vektor biasanya diberi koordinat pusat sel yang sesuai.

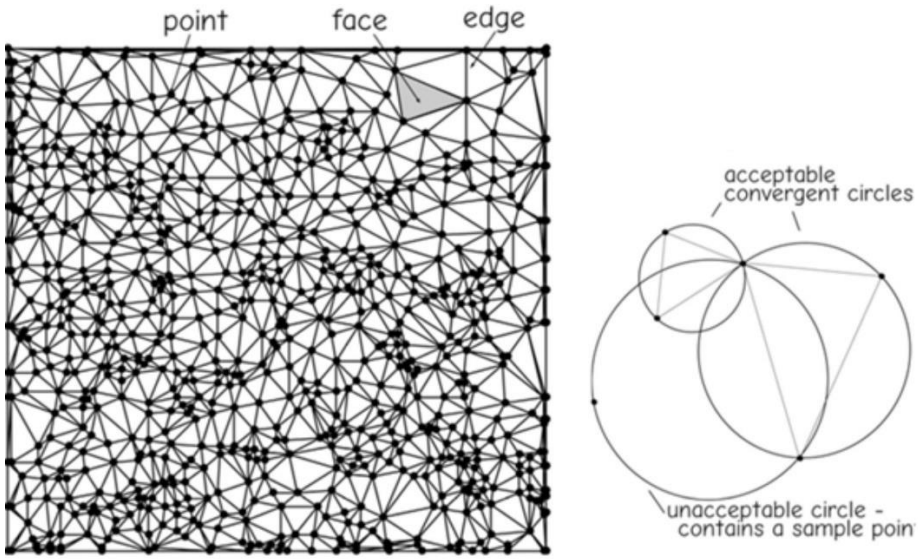
Fitur linier yang direpresentasikan dalam lingkungan raster dapat diubah menjadi garis vektor. Konversi ke garis vektor biasanya melibatkan pengidentifikasian kumpulan sel grid yang terhubung terus menerus yang membentuk garis. Pusat sel biasanya diambil sebagai lokasi simpul di sepanjang garis (Gambar b). Garis kemudian dapat "dihaluskan" menggunakan algoritme matematika untuk menghilangkan efek "tangga".

2.5 Model Data Lainnya

2.5.1 Jaringan Tidak Teratur Triangulasi

Jaringan tak beraturan triangulasi (TIN) adalah model data yang biasa digunakan untuk merepresentasikan ketinggian medan. Biasanya lokasi x, y, dan z untuk titik yang diukur dimasukkan ke dalam model data TIN. Titik-titik ini didistribusikan dalam ruang, dan titik-titik tersebut dapat dihubungkan sedemikian rupa sehingga segitiga sekecil mungkin mencakup tiga titik yang berdekatan. TIN membentuk jaringan segitiga yang terhubung. Segitiga Delaunay dibuat sedemikian rupa sehingga garis dari satu segitiga tidak melewati garis segitiga lainnya. Persimpangan garis dihindari dengan mengidentifikasi lingkaran konvergen untuk satu set tiga titik. Lingkaran konvergen didefinisikan sebagai lingkaran yang melewati ketiga

titik tersebut. Segitiga digambar hanya jika lingkaran konvergen yang sesuai tidak berisi titik pengambilan sampel lain. Setiap segitiga mendefinisikan permukaan medan, atau faset, yang diasumsikan memiliki kemiringan dan aspek seragam di atas segitiga.



Gambar 2.47 : Model data TIN mendefinisikan satu set segitiga yang berdekatan di atas ruang sampel (kiri). Titik sampel, faset, dan tepi adalah komponen model data TIN. Segitiga ditempatkan oleh lingkaran konvergen. Ini memotong simpul dari sebuah segitiga dan tidak mengandung simpul lain yang mungkin (di bawah).

Model TIN biasanya menggunakan beberapa bentuk pengindeksan untuk menghubungkan titik-titik yang berdekatan. Setiap tepi segitiga terhubung ke dua titik, yang masing-masing terhubung ke tepi lainnya. Koneksi ini berlanjut secara rekursif hingga seluruh jaringan direntangkan. Jadi, TIN adalah model data yang lebih rumit daripada grid raster sederhana.

Meskipun model TIN mungkin lebih kompleks daripada model raster sederhana, model ini juga mungkin jauh lebih sesuai dan efisien saat menyimpan data medan di area dengan relief variabel. Relatif sedikit titik yang diperlukan untuk mewakili area yang luas, datar, atau kontinu mulus. Lebih banyak titik yang diinginkan saat merepresentasikan medan yang bervariasi dan tidak kontinu. Surveyor sering kali mengumpulkan lebih banyak sampel per unit area di mana medannya sangat bervariasi. TIN dengan mudah mengakomodasi perbedaan dalam kepadatan pengambilan sampel ini, sehingga menghasilkan lebih banyak segitiga yang lebih kecil di area sampel yang padat. Daripada memaksakan ukuran sel yang seragam dan memiliki beberapa pengukuran untuk beberapa sel, satu pengukuran untuk yang lain, dan tidak ada pengukuran untuk sebagian besar sel, TIN mempertahankan setiap titik pengukuran di setiap lokasi.

2.5.2 Banyaknya "Storadigma"

ArcGIS mendukung, atau setidaknya mengenali, beberapa paradigma penyimpanan spasial yang berbeda:

1. File dan Personal Database
2. Shapefiles
3. Perlindungan

4. File CAD (Computer-aided design)
5. Dataset Vector Product Format (VPF)
6. Kumpulan data raster (GRID)
7. Kumpulan data jaringan triangulasi tak beraturan (TIN)
8. Set data medan

Nomor 2, 3, 4, dan 5 ini didasarkan pada konsep vektor. Kita akan memeriksa dan bekerja dengan dua yang pertama secara ekstensif. Nomor 6 adalah format raster yang telah dibahas secara singkat dan dibahas secara rinci sebelumnya. Nomor 7, seperti yang telah dibahas secara singkat sebelumnya, adalah teknik untuk menyimpan data di mana terdapat variabel independen dan kontinu (misalnya, elevasi) yang nilainya didasarkan pada dua variabel dependen x dan y, seringkali bujur dan lintang. TIN digunakan untuk mewakili permukaan. Dataran didasarkan pada TIN yang mencakup area dengan titik data yang jaraknya berdekatan.

Idealnya, hanya ada satu paradigma penyimpanan. Kita akan menyimpan semua data spasial dengan cara ini, dan ketika kita membuat kueri dari database, atau meminta map dari area dan skala tertentu, itu dapat disediakan. Satu masalah dengan pendekatan ini adalah bahwa jenis data yang berbeda — mewakili aspek lingkungan yang berbeda — memiliki karakteristik yang sangat berbeda. Pilih satu titik di permukaan bumi. Titik itu akan memiliki ketinggian. Jika ada tanah di sana, berarti titik itu memiliki ciri fisik. Seseorang atau beberapa entitas mungkin memilikinya. Pada saat tertentu daerah itu memiliki suhu tertentu, dan selama periode satu tahun daerah itu memiliki suhu rata-rata. Keadaan itu mungkin cocok untuk menanam beberapa jenis tanaman tertentu. Daerah itu memiliki kemiringan dan aspek tertentu. Jarak vertikal ke bawah ke batuan dasar memiliki nilai tertentu, dan batuan dasar tersebut berjenis tertentu. Mungkin ada volume batubara atau minyak di bawah permukaan. Atmosfer di atasnya mengandung polutan. Kita ingin menyajikan fakta-fakta ini dengan kumpulan data.

Beberapa dari informasi ini lebih mudah dan efektif disimpan dalam satu paradigma atau format, sementara informasi lain di format yang berbeda. Lebih jauh lagi, banyak penemuan dan kreasi telah menjadi masalah dalam merepresentasikan lingkungan yang tak terbatas dan berkelanjutan sebagai angka, huruf, dan simbol. Jadi kita berakhir dengan banyak paradigma berbeda untuk menyimpan data spasial, atau, untuk jika disebut, "storadigms". Satu keuntungan menggunakan perangkat lunak Esri adalah Anda dapat dengan mudah mengonversi dari satu metode penyimpanan data ke metode lainnya.

2.5.3 Objek — Kenalan Pertama

Perbedaan yang lebih besar antara penggambaran fitur dalam model data cakupan dan geodatabase adalah bahwa fitur bukan hanya entitas geometris dengan atribut, tetapi juga objek, dalam pengertian ilmu komputer.

Studi tentang listrik dan magnet biasanya dibagi menjadi dua bidang umum: medan dan sirkuit. Istilah medan mengacu pada karakteristik gaya tak terlihat yang disebabkan oleh bahan magnet atau arus yang mengalir dalam kawat. Sirkuit merujuk pada studi tentang listrik di mana elektron terbatas pada kabel dan elemen lainnya. Anda mungkin memikirkan analogi mudah antara bidang dan fitur area di satu sisi, dan fitur sirkuit dan linier (jaringan) di sisi lain. Dalam jaringan, entitas seperti truk dan molekul gas dibatasi dalam struktur fisik, karena elektron dibatasi dalam kabel sirkuit. Meskipun produk Esri telah memiliki kapabilitas jaringan sejak lama — terutama untuk menangani sistem transportasi — geodatabase membawa

kapabilitas ini ke level yang lebih tinggi. Dengan menggunakan fitur jaringan geodatabase ArcGIS 10, Anda dapat merepresentasikan dan mensimulasikan linear yang kompleks dan ekstensif, infrastruktur buatan manusia — contohnya: pipa, kabel, dan jalan.

Kemampuan baru jaringan ini difasilitasi dengan menyimpan fitur geografis dan atributnya dalam sistem database yang "berorientasi objek". Setiap baris mewakili sebuah objek. Objek dijelaskan oleh atribut. Tapi objek juga bisa memiliki "perilaku". Untuk contoh manusia, Anda dapat mendeskripsikan karakteristik seseorang dengan atribut, seperti berat badan, warna rambut, dan sifat mudah marah. Namun, jika sebagai tambahan, Anda “mengizinkan perilaku,” maka orang tersebut mungkin akan diinstruksikan untuk pergi ke toko untuk membeli sebotol acar. Proses ini dapat melibatkan objek lain: mobil tertentu yang diinstruksikan untuk dikendarai oleh orang ini, kasir yang akan menerima uang untuk membeli acar, dan sebagainya. Untuk mendekatkan ini ke GIS, objek jalan mungkin dapat dihubungkan ke objek jalan lain, tetapi tidak ke objek jalan bebas hambatan. Contoh lain, saluran gas bertekanan tinggi dapat dihubungkan ke katup bertekanan tinggi, tetapi tidak ke katup bertekanan rendah. Objek di geodatabase membawa kita selangkah lebih dekat untuk mengintegrasikan berbagai ide dan komponen GIS. Pembahasan mendetail tentang objek geodatabase tidak akan dibahas di sini.

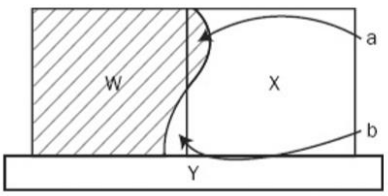
2.5.4 Struktur Data Shapefile

Geodatabase adalah struktur data yang kuat dan canggih. Selain topologi, Anda bisa bisa memperoleh secara gratis area dan keliling area yang digambar dan panjang fitur linier. Namun, Esri juga mendukung struktur data yang jauh lebih kompleks: shapefile.

Shapefile menggabungkan dua elemen utama penting yang sama seperti yang dilakukan oleh geodatabase: komponen grafik (geo) dan Database atribut. Perangkat lunak Database adalah sistem manajemen Database relasional bernama dBASE.

Shapefile tertentu dibatasi untuk hanya menyajikan salah satu dari jenis ini: titik, multipoin, polyline, atau poligon. Dengan titik, setiap titik individu memiliki catatan dalam database relasional. Jika sejumlah titik dianggap sebagai objek yang sama, maka objek tersebut hanya memiliki satu rekaman dalam tabel atribut. Seperti halnya geodatabase, polyline dapat terdiri dari satu atau lebih jalur, terhubung atau terputus-putus. Namun, jalur hanya boleh terdiri dari segmen garis lurus.

Poligon dalam shapefile memiliki kemiripan dengan poligon dalam geodatabase, tetapi tidak ada topologi yang disajikan dan yang dapat dibuat. Setiap poligon adalah hal yang berdiri sendiri. Poligon itu digambarkan sepenuhnya oleh satu entitas linier: urutan segmen yang dimulai di satu lokasi geografis dan kembali ke lokasi itu. Mungkin ada poligon yang berdekatan atau tidak. Poligon lain mungkin tumpang tindih.



Gambar 2.48 Poligon shapefile menggambarkan masalah tumpang tindih dan celah. (Poligon W memiliki batas kanan melengkung; poligon X memiliki batas kiri lurus.)

Masalah yang sangat rentan terhadap shapefile adalah bahwa mungkin ada potongan tumpang tindih atau potongan kekosongan (celah) antara poligon yang dimaksud, dan tidak ada yang dapat Anda lakukan jika data tetap dalam format shapefile. Pada gambar tersebut potongan “a” diklaim oleh W dan X, sedangkan potongan “b” tidak oleh keduanya.

Area geografis yang dipartisi menjadi poligon shapefile yang saling eksklusif akan memiliki informasi duplikat. Karena batas total setiap poligon ditentukan untuk poligon tersebut, setiap garis yang umum adalah "digital ganda". Lebih lanjut, ada dua batasan independen, dan Anda tidak dapat memastikan bahwa keduanya kongruen. Dengan geodatabase, Anda dapat membuat aturan topologi untuk memastikan bahwa poligon tidak tumpang tindih atau memiliki celah, tetapi tidak jika dengan shapefile.

Dengan poligon shapefile, Anda tidak mendapatkan luas dan keliling sebagai atribut.

Keuntungan dari menyajikan shapefile adalah kesederhanaan, kecepatan pemrosesan, kecepatan menggambar, dan, biasanya, penghematan penyimpanan. Shapefile berguna ketika Anda tidak membutuhkan geoprocessing yang canggih. Ketahuilah bahwa banyak kumpulan data GIS telah dimasukkan ke dalam format shapefile. Mungkin harus dilakukan konversi ke format geodatabase di masa mendatang jika Anda ingin menggunakan kumpulan data tersebut dalam geoprocessing.

2.5.5 Shapefile — Tata Letak di Komputer

Format untuk shapefile pada disk drive juga jauh lebih sederhana daripada cakupan atau geodatabase. Pada dasarnya, setidaknya tiga file dalam satu folder diperlukan untuk sebuah shapefile. Jika folder bernama AMENITIES berisi shapefile bernama LAWN_SPRINKLERS, maka AMENITIES akan berisi setidaknya file-file ini:

- lawn_sprinklers.shp (berisi informasi geografis)
- lawn_sprinklers.shx (berisi indeks spasial ke informasi geografis)
- lawn_sprinklers.dbf (berisi tabel dBASE untuk informasi atribut)

File lain yang mungkin ada di antaranya (lawn_sprinkler.sbx, lawn_sprinkler.sbn, lawn_sprinkler.prj (berisi informasi proyeksi) dan lawn_sprinkler.shp.xml (berisi metadata). Jadi istilah "shapefile" agak keliru, jika diharapkan hanya berupa satu file komputer. ArcCatalog, tentu saja, mewakili shapefile sebagai satu kesatuan, tetapi untuk sistem operasi, itu adalah beberapa file. Anda sebenarnya dapat memindahkan sebuah shapefile dari satu folder ke folder lain menggunakan sistem operasi. Anda cukup memindahkan semua file konstituen, tetapi ini bukan praktik yang disarankan; gunakan ArcCatalog sebagai gantinya. (Ingatlah bahwa dengan geodatabase tidak ada masalah dengan pemindahan atau penggantian nama karena Anda tidak dapat melihat kelas fitur konstituen dengan sistem operasi; mereka dikunci dalam file Database tunggal.)

Saat Anda mengakses folder yang berisi file yang membentuk sebuah shapefile di ArcMap atau ArcCatalog, Anda hanya melihat penandaanya — melanjutkan contoh kami — lawn_sprinklers.shp. File lainnya disembunyikan, jadi Anda mungkin menganggap shapefile hanya sebagai satu entitas.

Shapefile penting karena telah ada selama beberapa waktu dan banyak sekali dataset dalam format shapefile. Shapefile adalah format data pilihan untuk perangkat lunak ArcView Esri (hingga versi 3).

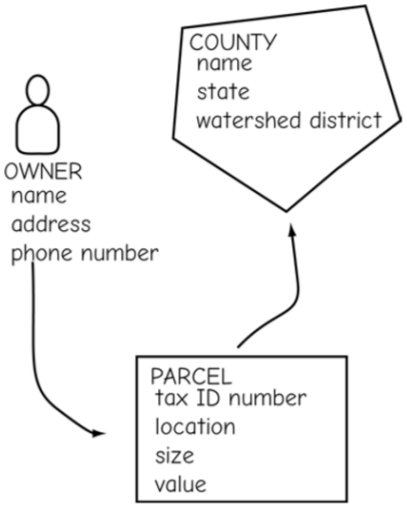
2.5.6 Model Data Objek

Model data objek merupakan salah satu alternatif penataan data spasial. Model data objek menggabungkan banyak filosofi pemrograman berorientasi objek ke dalam model data spasial. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan level abstraksi sehingga objek data dapat dikonseptualisasikan dan ditangani dengan cara yang lebih alami. Model objek mencoba merangkum informasi dan operasi (sering disebut "metode") menjadi objek diskrit. Objek ini dapat berupa fitur geografis, seperti kota. Data spasial dan atribut yang terkait dengan kota tertentu akan dimasukkan ke dalam satu objek kota. Objek ini mungkin berisi tidak hanya informasi tentang batas kota, tetapi juga jalan, lokasi bangunan, saluran air, atau fitur lain yang mungkin ada dalam struktur data terpisah dalam model vektor topologi berlapis. Topologi dapat dimasukkan, tetapi kemungkinan besar akan digabungkan dalam objek tunggal. Hubungan topologi dengan objek luar seperti kota atau kabupaten yang berdekatan juga dapat diwakili.

Pendekatan model objek telah diadopsi oleh setidaknya satu vendor utama perangkat lunak GIS dan diterapkan di sejumlah bidang. Kami biasanya membuat konsep sekumpulan kecil fitur, atau jenis objek dunia nyata, yang ingin kami wakili dalam database GIS kami. Fitur-fitur ini sendiri mungkin terdiri dari fitur-fitur lain, dan fitur-fitur ini oleh fitur-fitur lain. Bangunan mungkin berisi lantai, dan lantai berisi ruangan. Kami dengan mudah mengkonseptualisasikan sebuah bangunan sebagai tempat Nested dari objek atau fitur yang terkadang rumit ini.

Sebagai contoh lain, kami mungkin ingin merepresentasikan sistem distribusi tenaga listrik dengan menggunakan GIS. Ini akan mencakup sejumlah fitur yang berbeda, termasuk pembangkit listrik, jaringan transportasi untuk membawa bahan bakar ke pabrik, gedung pembangkit, saluran listrik, dan gedung pelanggan. Kita mungkin merepresentasikan ini sebagai titik vektor, garis, dan poligon. Namun, ini mungkin sulit untuk dikonseptualisasikan dan tidak praktis untuk dikelola jika kita memisahkan fitur ke dalam satu set layer vektor. Objek kompleks, misalnya, gardu induk, mungkin terdiri dari transformer, regulator, jaringan yang saling berhubungan, dan kabel listrik. Kami mungkin mengalami kesulitan untuk merepresentasikan ini dengan layer vektor sederhana. Kita mungkin membutuhkan beberapa layer atau tipe titik untuk merepresentasikan transformator vs. regulator, dan satu atau lebih layer vektor untuk merepresentasikan interkoneksi dan kabel listrik. Kami mungkin juga perlu menegakkan aturan tentang jenis koneksi atau hubungan tertentu; Misalnya, selalu ada pengatur antara sumber daya dan transformator.

Model objek untuk data spasial sering mengikuti model logis, pandangan pengguna dari objek nyata yang kami gambarkan dengan GIS. Model ini mencakup semua "hal" yang menarik, dan hubungan di antara mereka. Benda, atau benda, mungkin termasuk tiang listrik, transformator, kabel listrik, meteran, dan bangunan pelanggan, dan hubungan di antara mereka akan mencakup transformator pada tiang, garis antar tiang, dan meter disepanjang garis. Model logis sering direpresentasikan sebagai diagram kotak-dan-garis.



Gambar 2.49: Objek dalam database GIS dapat dikonseptualisasikan dalam diagram, atau model logis tentang keterkaitannya. Di sini, tiga jenis objek direpresentasikan, dengan pemilik yang terkait dengan parsel, dan parsel yang terkait dengan kabupaten.

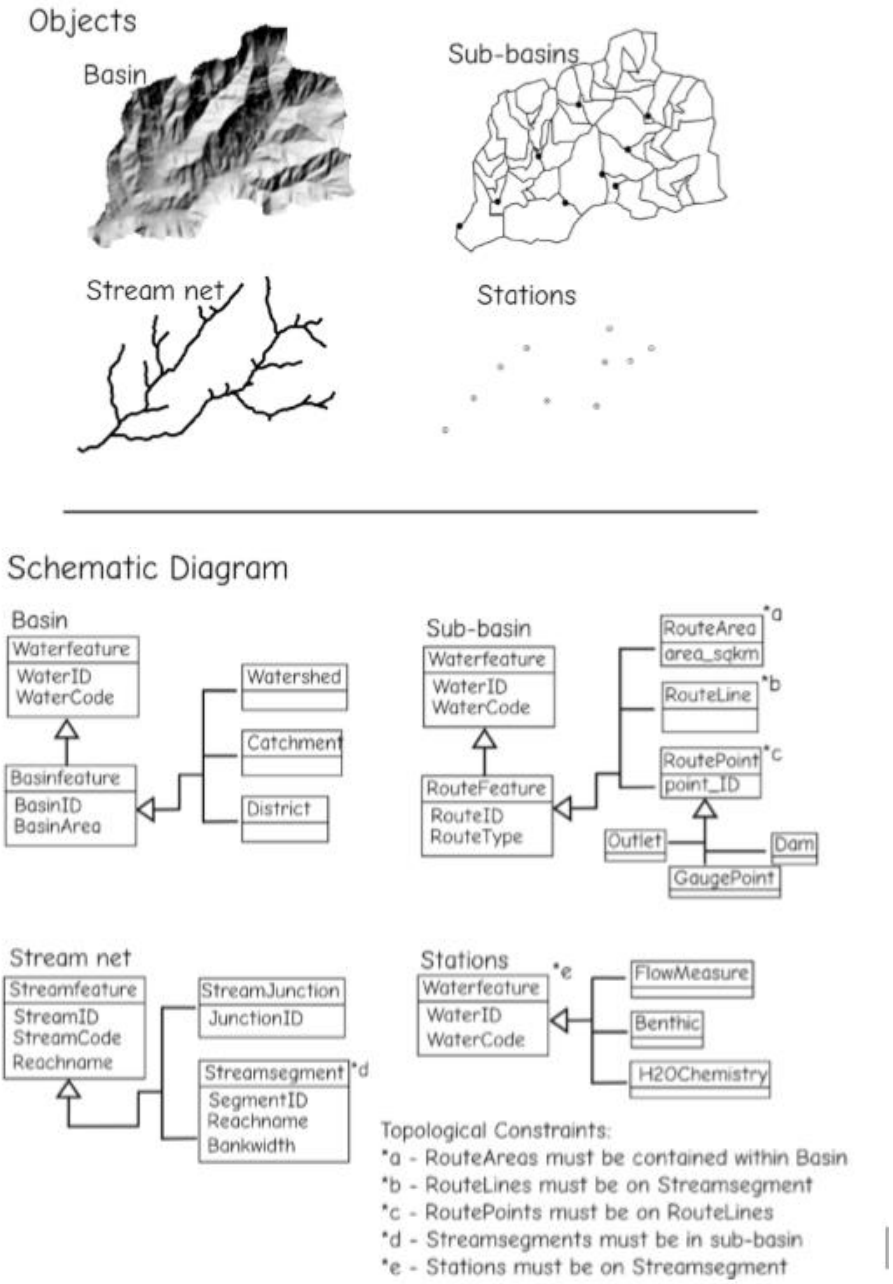
Kebanyakan model objek mendefinisikan properti dari setiap objek, dan hubungan antara tipe objek yang sama dan berbeda. Pipa dapat memiliki diameter, jenis material, dapat dihubungkan ke katup dan tangki, dan berada di bawah bangunan. Pipa dapat diwakili oleh garis dan katup dengan titik, tetapi elemen vektor ini ditingkatkan dalam model objek karena sifat pipa dan pipa tertentu dapat dihubungkan ke katup tertentu yang dipasang ke lokasi tertentu. Properti pipa dienkapsulasi di dalam objek pipa. Katup mungkin diperlukan untuk bertepatan dengan pipa, untuk mencocokkan sifat pipa, dan saluran pipa harus dimulai dan diakhiri dengan katup.

Karena relasi disimpan dalam database, kita dapat secara transparan merepresentasikan topologi dan mengubah aturan topologi sesuai kebutuhan. Hubungan adalah bagian eksplisit dari desain berorientasi objek, jadi aturan tentang properti objek, seperti "bahan pipa mungkin hanya tanah liat, baja, PVC, atau tembaga", atau "saluran servis harus terhubung ke jalur utama", mungkin secara eksplisit tertanam dalam database. Dalam model data lain, hubungan ini sering kali tertanam dalam kode komputer tertentu yang sulit dimodifikasi, suatu kerugian yang menambah biaya dan waktu untuk memodifikasi database.

Model objek dapat ditentukan untuk secara otomatis mentransfer properti dalam kelas objek, kemampuan yang disebut pewarisan. Kami dapat membuat objek katup umum, dengan peringkat tekanan maksimum, biaya, dan jenis material. Dalam kelas umum ini kita dapat membuat sejumlah subkelas katup, misalnya, katup pemutus darurat, katup kontrol primer, atau katup shunt. Subkelas ini akan mewarisi semua variabel properti dari katup generik yang masing-masing memiliki biaya, tekanan maksimum, dan material, dan harus ada pada pipa, tetapi setiap subkelas juga dapat memiliki properti tambahan yang unik.

Gambar dibawah ini menunjukkan contoh model data objek untuk cekungan hidrologi dan jaringan aliran serta fitur terkait. Bingkai atas menunjukkan grafik fitur, dalam contoh ini cekungan, sub-cekungan, jaringan aliran, dan fitur pada jaringan aliran seperti stasiun pengukuran atau pengambilan sampel. Panel bawah menunjukkan tipe fitur, atribut, dan properti dalam model objek. Perhatikan bahwa ada properti objek dan hubungan topologi

yang direpresentasikan, dan beberapa tipe fitur dapat direpresentasikan dalam model objek. Cekungan utama, subbaskom, dan stasiun adalah semua jenis fitur air. Cekungan dapat terdiri dari beberapa jenis fitur area. Objek sub-cekungan dapat terdiri dari fitur titik, garis, dan area, semua dibatasi secara topologis berada dalam cekungan atau bertepatan dengan segmen sungai, jika sesuai. Jaringan aliran didefinisikan sebagai segmen dan persimpangan, dan stasiun dari beberapa jenis mungkin ada, semua dibatasi untuk ditempatkan di segmen aliran.



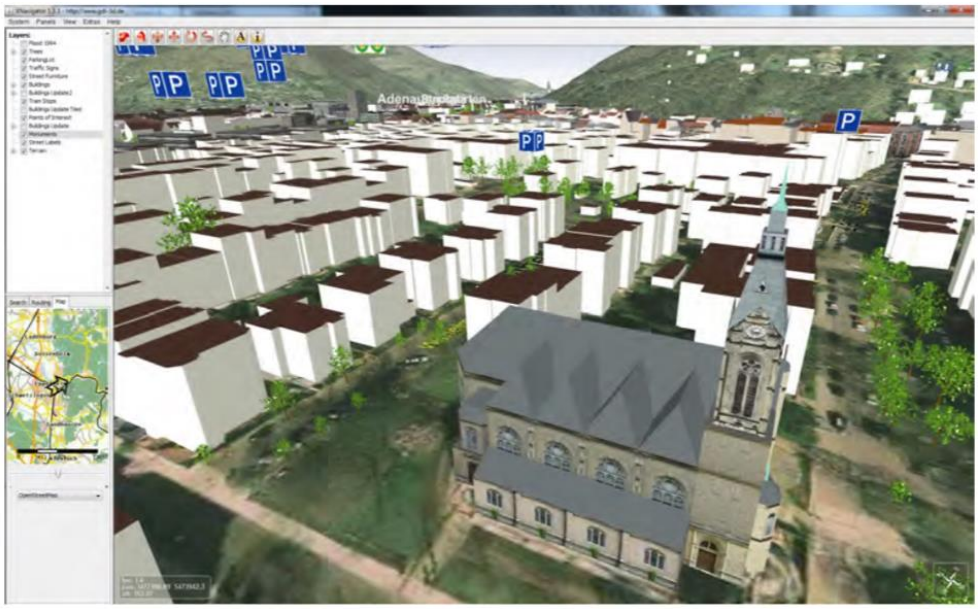
Gambar 2.50 : Model data berorientasi objek memungkinkan kita untuk merangkum objek kompleks yang mungkin merupakan kombinasi dari banyak fitur dan tipe fitur yang berbeda, sementara secara eksplisit mengidentifikasi kompleksitas yang disematkan dengan cara standar. Batasan seperti hubungan topologi antar objek juga dapat direpresentasikan.

Model data objek memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan vektor topologi tradisional dan model data raster. Beberapa entitas geografis mungkin secara alami

dan mudah diidentifikasi sebagai unit terpisah untuk masalah tertentu, dan dengan demikian mungkin secara alami dapat menerima pendekatan berorientasi objek. Beberapa pendukung mengklaim model objek lebih mudah diimplementasikan di perangkat lunak database yang lebih luas, terutama untuk model yang kompleks. Namun, model data objek kurang berguna untuk merepresentasikan fitur yang terus berubah, seperti elevasi. Selain itu, untuk banyak masalah, definisi dan pengindeksan objek mungkin cukup kompleks. Pengembang perangkat lunak mengalami kesulitan dalam mengembangkan alat umum yang dapat mengimplementasikan model objek dengan cepat, sehingga diperlukan tingkat pelatihan khusus tambahan. Akhirnya, kami mencatat bahwa tidak ada definisi formal yang diterima secara luas tentang apa yang merupakan model data objek.

2.5.7 Model Data Tiga Dimensi

SIG di lingkungan binaan semakin mengintegrasikan informasi tiga dimensi (3D) seperti ketinggian bangunan, bentuk atap, dan karakteristik terkait ketinggian lainnya. Ini sebagian untuk mendukung analisis, dan sebagian untuk menghasilkan visualisasi dari pada atau dekat permukaan tanah, misalnya, tampilan bangunan dari jalan terdekat. Penangkapan data yang ditingkatkan memungkinkan perkembangan pesat data 3D yang harus diintegrasikan ke dalam model data yang sesuai.



Gambar 2.51 : Contoh data spasial 3D yang ditampilkan untuk suatu wilayah di Jerman. Dimensi ketiga membantu dalam banyak fungsi perencanaan dan penilaian, dan menjadi umum dalam mengelola lingkungan binaan. (atas izin Kota Heidelberg dan Universitas Heidelberg).

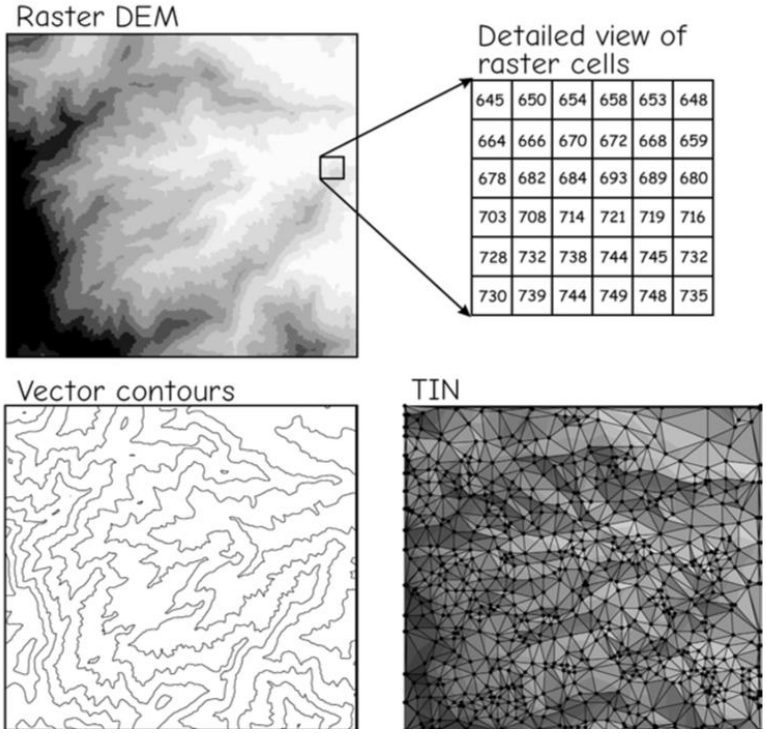
Beberapa model data 3D telah diusulkan, dengan model "seperti vektor" lebih umum diterapkan daripada model "seperti raster". Yang terakhir menggunakan konsep voxel, atau elemen volume, pada dasarnya kubus dengan dimensi tetap. Area datar atau baseline memiliki nol voxel yang ditumpuk di atas permukaan, dengan jumlah voxel yang "dipertaruhkan" di setiap sel raster untuk mewakili ketinggian. Meskipun mudah diakses dan sederhana untuk semua alasan set raster, mereka juga mengalami kelemahan yang sama, terutama trade-off antara presisi, atau ukuran voxel, dan volume data.

Banyak alternatif model 3D "seperti vektor" telah diusulkan, banyak yang mendefinisikan elemen tubuh, selain elemen titik, garis, dan poligon standar. Titik digunakan untuk membuat garis, garis untuk poligon, dan poligon untuk membuat badan. Sama seperti vektor 2D, vektor 3D menambahkan skema pengindeksan, dengan komplikasi tambahan koordinat z ke elemen apa pun di atas bidang dasar layer data.

Sementara model 3D vektor lebih umum, tidak ada satu bentuk atau standar model yang diadopsi secara luas, dengan representasi umumnya khusus perangkat lunak. Produk GIS tiga dimensi telah menjadi cukup matang, misalnya, analis spasial 3D dan produk CityEngine 3D dari ESRI adalah alat berfitur lengkap, stabil, produktif, mendukung alur kerja awal hingga akhir, dari konversi data 2D ke 3D, konsumsi data spasial 3D, pemrosesan dan organisasi, dan output untuk proyek, video, dan layanan Web interaktif. Alat pemrosesan GIS tiga dimensi tersedia dari vendor lain, dan sebagai plug-in untuk QGIS

2.5.8 Beberapa Model

Data digital seringkali dapat direpresentasikan menggunakan salah satu dari beberapa model data. Analis harus memilih representasi mana yang akan digunakan. Data elevasi digital mungkin merupakan contoh terbaik dari penggunaan beberapa model data untuk merepresentasikan tema yang sama. Representasi digital ketinggian medan memiliki sejarah panjang dan digunakan secara luas dalam GIS. Data ketinggian dan permukaan turunan seperti kemiringan dan aspek penting dalam hidrologi, transportasi, ekologi, perencanaan kota dan wilayah, rute utilitas, dan sejumlah aktivitas lain yang dianalisis menggunakan GIS. Karena kepentingan yang tersebar luas ini, data elevasi digital biasanya direpresentasikan dalam sejumlah model data.



Gambar 2.52 : Data mungkin sering direpresentasikan dalam beberapa model data. Data elevasi digital biasanya direpresentasikan dalam model data raster (DEM), vektor (kontur), dan TIN.

Kisi raster, TIN, dan kontur vektor adalah struktur data yang paling umum digunakan untuk mengatur dan menyimpan data elevasi digital. Data raster dan TIN sering disebut model elevasi digital (DEM) atau model medan digital (DTM) dan biasanya digunakan dalam analisis medan. Garis kontur paling sering digunakan sebagai bentuk masukan, atau bentuk output yang sudah dikenal. Secara historis, hipsografi (ketinggian medan) digambarkan pada peta sebagai garis kontur. Kontur mewakili garis dengan ketinggian yang sama, biasanya diberi jarak pada interval ketinggian tetap di seluruh area yang dipetakan. Karena banyak analisis penting lebih sulit menggunakan garis kontur, sebagian besar data elevasi digital disimpan menggunakan model raster atau TIN.

2.6 Dimensi Spasial Ketiga

2.6.1 3-D: 2-D (Spasial) Plus 1-D (Spasial)

Ukuran 3D Analyst Extension dibuktikan oleh fakta bahwa Esri memiliki manual tentang subjek, dan John Wiley and Sons memiliki teks 200 halaman tentang pemodelan 3-D menggunakan ekstensi.

Sepanjang teks saya telah mengisyaratkan kemungkinan GIS tiga dimensi. Sebelum Anda memulai latihan, mari kita lihat daftar hal-hal yang dapat Anda lakukan dengan ekstensi visualisasi dan analisis 3-D ini. Satu peringatan: Ada banyak tumpang tindih antara kemampuan Spatial Analyst dan 3D Analyst. Misalnya, keduanya berurusan dengan permukaan. Spatial Analyst lebih mementingkan analisis dan 3D Analyst menekankan tampilan, tetapi kedua ekstensi ini berbagi beberapa alat dan bekerja sebagai sebuah tim.

2.6.2 ArcScene

Dengan ArcScene Anda dapat:

- Membuat permukaan dengan sejumlah alat dan teknik.
- Menganalisis permukaan dengan berbagai cara.
- Meletakkan gambar raster di atas permukaan.
- Menggantungkan fitur vektor di atas permukaan.
- Melihat permukaan tiga dimensi dengan perspektif dari beberapa titik pengamat.
- Melihat pemandangan secara berbeda dengan mengubah sifat bayangan, transparansi, dan iluminasi lapisan 3-D.
- Mengubah komponen visual "Z" dari scene 3-D (pembesaran vertikal).
- Membuat model permukaan dari raster dan TIN.
- Membuat kueri pada nilai raster.
- Mendpatkan informasi instan tentang elevasi, kemiringan, dan aspek TIN.
- Membuat kontur permukaan.
- Menemukan jalur tercuram di permukaan.
- Melihat permukaan di bawah tingkat pencahayaan yang berbeda.
- Menghitung volume antara bidang horizontal dan permukaan tiga dimensi yang ditentukan oleh TIN.
- Menentukan bagian lanskap mana yang dapat dilihat dari berbagai sudut pandang.
- Menggambar garis pandang melintasi lanskap.

- Membuat grafik profil penampang 2D dari permukaan 3-D, jika diberi garis yang melintasi permukaan.
- Membuat fitur 3-D dari data 2-D.
- Mendigitalkan fitur 3-D.
- Mengeluarkan fitur 3-D dari fitur 2-D.
- Mensimulasikan "terbang melalui" lanskap menggunakan kemampuan animasi.

2.6.3 ArcGlobe

Paket perangkat lunak lain dalam 3D Analyst adalah ArcGlobe—perangkat lunak yang sangat efektif yang harus digunakan di setiap sekolah dasar di negara ini. ArcGlobe untuk globe manual sedangkan ArcMap untuk map kertas. Ini adalah tuas perangkat lunak yang memberi Anda keunggulan intelektual dalam melihat dunia.

Dengan ArcGlobe Anda bisa

- Mendapatkan pemandangan luar biasa dari bumi, berputar dan menggeser permukaannya
- Menambahkan kumpulan data besar yang merupakan bagian dari permukaan bumi, ditempatkan dengan benar terlepas dari sistem koordinatnya.
- Memutar bola dunia secara otomatis di sekitar porosnya, melihat dari sudut pandang mana pun.
- Mengukur jarak di sepanjang rute lingkaran besar.
- Memutar gambar baik di sekitar pusat bumi atau di sekitar titik tengah gambar—melakukan navigasi global atau lokal.
- Membuat animasi dari gambar yang Anda hasilkan.
- Sekali lagi, kemampuan 3D Analyst paling bagus yaitu dipraktekkan daripada dijelaskan. Anda dapat melakukan itu setelah ini.

2.7 Dimensi Waktu

2.7.1 3-D: 2-D (Spatial) Plus 1-D (Temporal)

Waktu biasanya dianggap sebagai musuh GIS. Waktu, di antara yang lain, memastikan bahwa GIS selalu ketinggalan zaman dalam beberapa hal atau lainnya. Dunia di sekitar kita terus berubah—karena efek alami dan tindakan manusia. Bit-bit dalam memori komputer tetap dalam statusnya kecuali diubah. Waktu terus berjalan, secara bertahap membuat data kita menjadi usang atau memaksa kita untuk terus memperbarui data. Pembaruan seperti itu memakan waktu dan mahal. Bayangkan, misalnya, bahwa fitur utama basis data Anda terdiri dari foto orto, yang diperoleh dari pesawat. Seberapa sering Anda menerbangkan kembali pesawat ke area tersebut sehingga foto mencerminkan perkembangan baru atau perubahan lingkungan? Dan berapa biayanya?

Masalah lain dengan waktu dan GIS adalah bahwa sangat sedikit upaya yang biasanya dilakukan untuk mempertahankan status basis data dengan tujuan menganalisis perubahan nanti. Jika sepotong properti dibagi lagi, atau jalan dibangun, basis data yang terpengaruh mungkin diperbarui, tetapi waktu pembaruan terjadi biasanya hilang, sejauh akses mudah bagi mereka yang mungkin ingin membandingkan "apa itu (sekarang)" dengan "apa itu (masa lalu)."

Sekali lagi, kita menghadapi masalah kontinu versus diskrit. Pergerakan waktu adalah fenomena yang terus menerus. Perubahan bertahap terjadi dalam perkembangan waktu. Apakah perubahan itu cukup besar untuk menjamin modifikasi basis data? Pertimbangkan sebuah rumah di distrik bersejarah. Cat di rumah memburuk perlahan. Kapan catatan penampilan rumah berubah dari sangat baik menjadi baik lalu menjadi cukup baik lalu menjadi buruk? Jadi, Pertanyaan 1 adalah bagaimana dan seberapa sering Anda memperbarui basis data Anda. Pertanyaan 2 adalah apa yang diperlukan untuk memicu perubahan. Misalkan rumah dicat ulang dengan warna yang berbeda. Misalkan ekstensi ditambahkan. Misalkan rumah itu dibongkar.

Ini hanyalah pose waktu komplikasi untuk GIS dua dimensi kami. Melihat ke masa depan, dapatkah GIS dimanfaatkan untuk memungkinkan analisis perubahan lingkungan dari waktu ke waktu? Tentu saja, map lama dapat dipindai dan ditafsirkan. Data tersebut dapat dibandingkan dengan data GIS yang baru dipasang. Mereka yang tertarik menggunakan GIS untuk sejarah harus membaca buku Anne Kelly Knowles Past Time, Past Place (Esri Press, 2002).

Tetapi pertimbangkan: Map lama memiliki tanggal. Misalkan Anda tertarik untuk membuat perbandingan antara kondisi sekarang dan 10 tahun yang lalu di tempat yang telah menggunakan, dan terus memperbarui, basis data GIS. Bagaimana Anda tahu apa yang berubah?

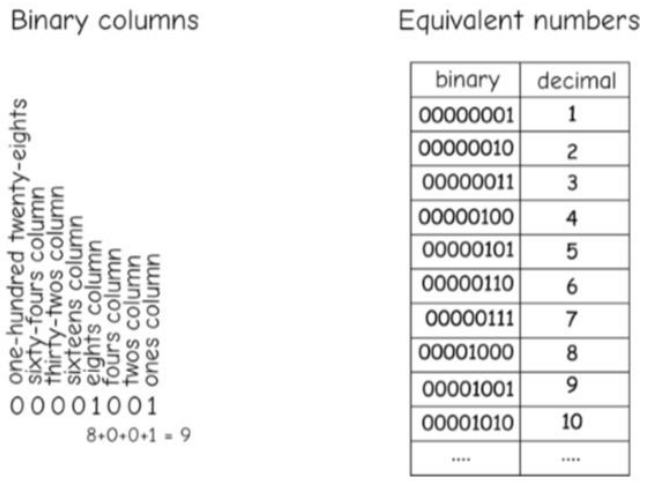
Sejak awal pembahasan di buku ini, Anda telah bergulat, setidaknya secara teoretis, dengan merepresentasikan dunia berkelanjutan dalam memori diskrit komputer. Sekarang kontinum lain, waktu, dilemparkan. Reaksi Anda, dan, sebagian besar, reaksi "industri GIS," adalah mengabaikan topik tersebut. Lagi pula, cukup sulit untuk memperbaiki semuanya dalam dua dimensi. Tetapi masalah ini, bersama dengan masalah pengendalian kualitas informasi secara umum, adalah salah satu yang harus dihadapi. Untuk teoretis yang lebih tua tetapi masih valid tentang masalah temporal yang terkait dengan GIS, baca buku Gail Langran Time in Geographic Information Systems (Taylor & Francis, 1993).

2.8 Struktur Data dan File

2.8.1 Bilangan Biner dan ASCII

Tidak peduli model data spasial mana yang digunakan, konsep harus diterjemahkan ke dalam sekumpulan angka yang disimpan di komputer. Semua informasi yang disimpan di komputer dalam format digital dapat direpresentasikan sebagai rangkaian 0 dan 1. Data ini dikatakan disimpan dalam format biner, karena setiap digit dapat berisi satu dari dua nilai, 0 atau 1. Bilangan biner berada dalam basis 2, jadi setiap kolom berturut-turut dari sebuah angka mewakili pangkat dua.

Kami menggunakan konvensi kolom serupa dalam sistem penomoran berbasis sepuluh (desimal) yang kami kenal. Sebagai contoh, perhatikan angka 47, yang kami wakili menggunakan dua kolom. Tujuh di kolom pertama menunjukkan ada tujuh unit dari satu. Empat di kolom puluhan menunjukkan ada empat unit sepuluh.



Gambar 2.53 : Representasi Biner pada angka/bilangan desimal

Setiap kolom yang lebih tinggi mewakili pangkat sepuluh yang lebih tinggi. Kolom pertama mewakili satu (10^0 = 1), kolom berikutnya mewakili puluhan (10^1 = 10), kolom berikutnya mewakili ratusan (10^2 = 100), dan ke atas untuk pangkat sepuluh berturut-turut. Kami menambahkan nilai-nilai yang direpresentasikan dalam kolom untuk menguraikan nomor tersebut.

Bilangan biner juga dibentuk dengan merepresentasikan nilai dalam kolom. Dalam sistem biner, setiap kolom mewakili kekuatan dua yang lebih tinggi secara berturut-turut. Kolom pertama (paling kanan) mewakili 1 (2^0 = 1), kolom kedua (dari kanan) mewakili berpasangan (2^1 = 2), kolom ketiga (dari kanan) mewakili empat (2^2 = 4), lalu delapan (2^3 = 8) , enam belas (2^4 = 16), dan ke atas untuk pangkat dua berturut-turut. Jadi, angka biner 1001 mewakili angka desimal 9: satu dari kolom paling kanan, dan delapan dari kolom keempat.

Setiap digit atau kolom dalam bilangan biner disebut bit, dan delapan kolom, atau bit, disebut byte. Byte adalah unit umum untuk menentukan tipe data dan angka, misalnya, file data dapat disebut berisi angka integer 4-byte. Ini berarti setiap angka diwakili oleh 4 byte data biner (atau 8 x 4 = 32 bit).

Beberapa byte diperlukan untuk merepresentasikan angka yang lebih besar. Misalnya, satu byte dapat digunakan untuk mewakili 256 nilai yang berbeda. Ketika sebuah byte digunakan untuk bilangan integer nonnegatif, maka hanya nilai dari 0 sampai 255 yang dapat direkam. Ini akan berfungsi ketika semua nilai di bawah 255, tetapi pertimbangkan layer data elevasi dengan nilai lebih besar dari 255. Jika data tidak diskalakan ulang, maka lebih dari satu byte penyimpanan diperlukan untuk setiap nilai. Dua byte akan menyimpan hingga 65.536 nomor berbeda. Ketinggian terestrial yang diukur dalam kaki atau meter semuanya di bawah nilai ini, jadi dua byte data sering digunakan untuk menyimpan data ketinggian. Bilangan real seperti 12.19 atau 865.3 biasanya membutuhkan lebih banyak byte, dan secara efektif dibagi, yaitu dua byte untuk seluruh bagian dari bilangan real, dan empat byte untuk bagian pecahan.

Bilangan biner sering digunakan untuk mewakili kode. Data spasial dan atribut kemudian dapat direpresentasikan sebagai teks atau sebagai kode standar. Hal ini biasa terjadi ketika data raster atau vektor diubah untuk ekspor atau impor di antara sistem perangkat lunak GIS yang berbeda. Misalnya, ArcGIS, GIS yang banyak digunakan, menghasilkan beberapa format

ekspor dalam format teks atau biner. Idrisi, GIS populer lainnya, mendukung format raster biner dan alfanumerik.

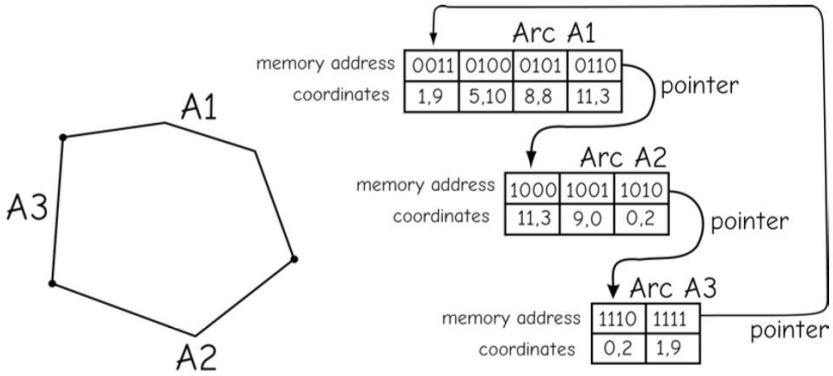
Salah satu skema pengkodean angka yang paling umum menggunakan penunjuk ASCII. ASCII adalah singkatan dari American Standard Code for Information Interchange. ASCII adalah format data standar dan tersebar luas yang menggunakan tujuh bit, atau angka 0 hingga 126, untuk mewakili teks dan karakter lainnya. Skema ASCII yang diperluas, atau ANSI (Institut Standar Nasional Amerika), menggunakan kode yang sama ini, ditambah bit biner tambahan untuk mewakili angka antara 127 dan 255. Kode ini kemudian digunakan di banyak program, termasuk GIS, terutama untuk ekspor atau pertukaran data . Kode ASCII memungkinkan kita untuk dengan mudah dan seragam mewakili karakter alfanumerik seperti huruf, tanda baca, karakter lain, dan angka.

ASCII mengonversi bilangan biner menjadi karakter alfanumerik melalui indeks. Setiap karakter alfanumerik sesuai dengan angka tertentu antara 0 dan 255, yang memungkinkan setiap urutan karakter diwakili oleh angka. Satu byte diperlukan untuk mewakili setiap karakter dalam pengkodean ASCII yang diperluas, sehingga kumpulan data ASCII biasanya jauh lebih besar daripada kumpulan data biner. Data geografis dalam GIS dapat menggunakan kombinasi data biner dan ASCII yang disimpan dalam file. Data biner biasanya digunakan untuk informasi koordinat, dan ASCII atau kode lain dapat digunakan untuk data atribut.

2.8.2 Pointer dan Indeks

File data dapat dihubungkan dengan penunjuk file, indeks, atau struktur lainnya. Penunjuk adalah alamat atau indeks yang menghubungkan satu lokasi file ke file lainnya. Pointer adalah cara umum untuk mengatur informasi di dalam dan di berbagai file. Pointer digunakan untuk menghubungkan kumpulan garis yang membentuk setiap poligon. Ada penunjuk dari setiap baris ke baris berikutnya, membentuk rantai yang mendefinisikan batas poligon.

Pointer membantu dengan mengatur data sedemikian rupa untuk meningkatkan kecepatan akses. Data yang tidak terorganisir akan membutuhkan pencarian yang memakan waktu setiap kali batas poligon harus diidentifikasi. Pointer juga memungkinkan penggunaan ruang penyimpanan yang efisien. Dalam contoh kami, setiap segmen garis disimpan hanya sekali. Beberapa poligon mungkin menunjuk ke ruas garis karena biasanya jauh lebih hemat ruang untuk menambahkan penunjuk daripada menduplikasi ruas garis.



Gambar 2.54 : Pointer digunakan untuk mengatur data vektor. Pointer mengurangi penyimpanan yang berlebihan dan meningkatkan kecepatan akses.

Shapefiles adalah format data spasial vektor umum yang menggunakan indeks untuk menghubungkan file. Shapefile pada awalnya dikembangkan oleh ESRI, inc., Sebagai cara untuk menyimpan fitur titik, garis, dan poligon, meskipun mereka telah diadopsi sebagai format umum untuk pertukaran dan analisis data.

Shapefile didukung oleh AutoCAD, QGIS, MapWindow, Manifold, dan sebagian besar perangkat lunak GIS lainnya yang memproses data vektor. Shapefiles mewakili layer dengan sekelompok file. Setiap file memiliki nama dasar yang sama tetapi ekstensi nama file yang berbeda, ditunjukkan dengan sufiks, misalnya, ".shp" dalam nama file "boundary.shp." Layer data transportasi yang disimpan dalam format shapefile mungkin memiliki nama dasar jalan, dengan sufiks yang berbeda untuk file yang berbeda:

roads.shp
roads.shx
roads.dbf
roads.prj dll ....

Tiga file pertama di atas semuanya diperlukan untuk merepresentasikan layer data vektor menggunakan shapefile. File-file ini dihubungkan menggunakan indeks, angka yang mengidentifikasi koneksi dan pengelompokan untuk berbagai komponen. File .shp berisi koordinat yang mewakili setiap jalan, diatur menurut segmen garis. Ada informasi umum untuk setiap segmen, dan kemudian daftar koordinat dan data lain untuk segmen tersebut. Ini diikuti dengan informasi umum untuk segmen berikutnya, dan daftar lainnya. Karena panjang jalan berbeda-beda, demikian juga setiap catatan (rangkaian angka) untuk setiap jalan. Perhatikan bahwa segmen jalan yang berdekatan sering kali berdekatan dalam file, tetapi tidak harus begitu. Ketika beberapa segmen terhubung di sebuah persimpangan, misalnya, di sebuah persimpangan jalan, tidak semua koneksi dapat diurutkan secara berurutan dalam daftar.

Segmen di file roads.shp diindeks oleh penunjuk di file roads.shx. Bagian dari informasi yang disimpan untuk segmen adalah pengidentifikasi segmen penghubung. File roads.shx berisi indeks yang mengarah ke rekaman segmen dalam file .shp, berdasarkan pengenal ini. Ini mempercepat akses, karena tanpa pengindeksan, perangkat lunak harus mencari file .shp setiap kali diperlukan untuk menemukan segmen yang berdekatan di jalan raya.

File roads.dbf juga menggunakan indeks untuk menunjuk ke jalan gabungan dalam file .shp dan .shx. Sekelompok segmen dapat digunakan untuk membentuk garis, dan dikaitkan dengan sekumpulan atribut yang disimpan dalam file dbf, misalnya, atribut pada nama jalan, tipe permukaan, atau batas kecepatan. Dengan penggunaan yang tepat dari pointer dan indeks, yang sebagian besar tersembunyi bagi pengguna, kelompok tiga shapefile ini mengimplementasikan model data vektor.

Karena pointer dan indeks adalah elemen kunci dalam mengatur data spasial, mengubahnya secara langsung biasanya akan menimbulkan masalah. Biasanya indeks ini dibuat oleh perangkat lunak selama pemrosesan, dan diperbarui sesuai kebutuhan saat data ditambahkan, dimodifikasi, atau dianalisis. Pointer mungkin terlihat, misalnya, kolom OID dalam tabel .dbf yang digunakan dengan shapefile, tetapi mengubah nilai secara manual akan sering merusak layer data. Anda harus mengetahui identitas dan penggunaan petunjuk dalam kumpulan data Anda, sehingga Anda tidak mengubahnya secara tidak sengaja.

Pointer, pengindeksan, dan layer multifile tidak terbatas pada data vektor. Banyak format raster menyimpan sebagian besar data sel dalam satu file, dan tambahan, informasi terkait dalam file terkait. Anda harus berhati-hati saat mentransfer layer data untuk menyertakan semua file terkait. Misalnya, menyalin file roads.shp dan roads.dbf ke lokasi baru tidak menyalin layer data yang dapat digunakan. Perangkat lunak ini mengharapkan file .shx; kumpulan file yang tidak lengkap seringkali tidak berguna.

2.8.3 Kompresi data

Kami sering mengompres file data spasial karena ukurannya besar. Kompresi data mengurangi ukuran file dengan tetap menjaga informasi yang terkandung di dalam file. Algoritme kompresi mungkin "lossless", karena semua informasi dipertahankan selama kompresi, atau "lossy", karena beberapa informasi akan hilang. Algoritme kompresi lossless akan menghasilkan salinan persis dari yang asli saat diterapkan dan kemudian algoritme dekompresi yang sesuai diterapkan. Algoritma lossy akan mengubah data ketika diterapkan dan algoritma dekompresi yang sesuai diterapkan. Algoritme lossy paling sering digunakan dengan data gambar, di mana degradasi substansial masih menyisakan gambar yang berguna, dan jarang diterapkan pada data spasial tematik, di mana degradasi data biasanya tidak ditoleransi.

Kompresi data paling sering diterapkan pada data raster diskrit, misalnya, saat merepresentasikan poligon atau informasi area dalam GIS raster. Ada elemen data yang berlebihan dalam representasi raster dari area homogen yang luas. Setiap sel raster dalam area homogen akan memiliki kode yang sama dengan sebagian besar atau semua sel yang berdekatan. Algoritme kompresi data menghilangkan banyak redundansi ini.

Pengodean panjang jalan adalah metode kompresi data yang umum. Teknik kompresi ini didasarkan pada pencatatan proses sekuensial dari nilai sel raster. Setiap proses dicatat sebagai nilai yang ditemukan dalam kumpulan sel yang berdekatan dan panjang proses, atau jumlah sel dengan nilai yang sama. Tujuh sel berurutan tipe A mungkin terdaftar sebagai A7, bukan AAAAAAA. Jadi, tujuh sel akan diwakili oleh dua karakter. Pertimbangkan data yang direkam pada gambar dibawah ini, di mana setiap baris sel raster diwakili oleh satu set kode run-length.

Raster								Run length codes
9	9	6	6	6	6	6	7	2:9, 5:6, 1:7
6	6	6	6	6	6	6	6	8:6
9	9	6	6	6	6	7	7	2:9, 4:6, 2:7
9	8	9	6	6	7	7	5	1:9, 1:8, 1:9, 2:6, 2:7, 1:5

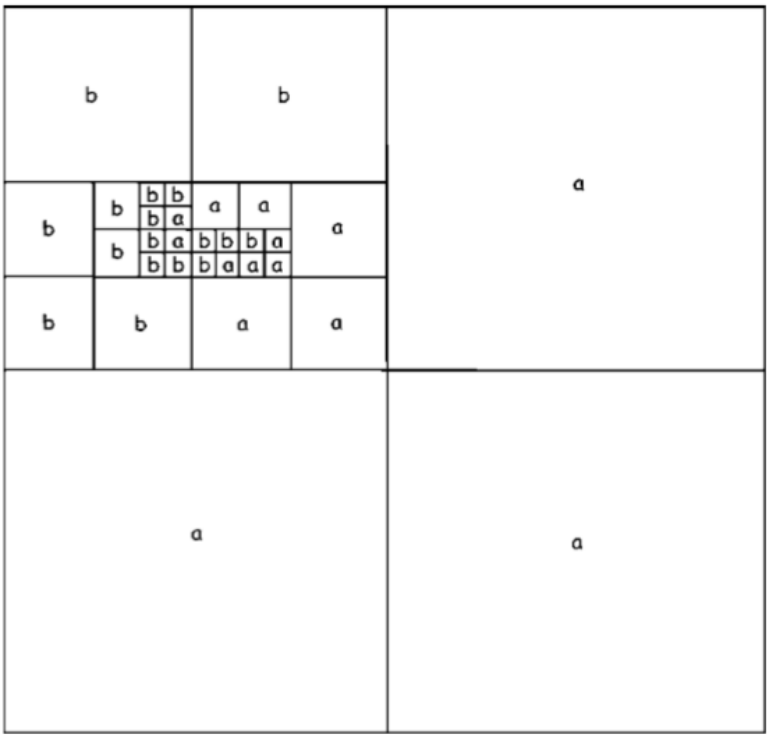
Gambar 2.55: Pengodean run-length adalah metode umum dan relatif sederhana untuk mengompresi data raster. Angka kiri dalam run-length pair adalah jumlah sel dalam run, dan angka kanan adalah nilai sel. Jadi, 2: 9 yang terdaftar di awal baris pertama menunjukkan run of length dua untuk nilai sel 9.

Perhatikan bahwa dalam beberapa contoh pengodean panjang proses meningkatkan volume data, paling sering ketika tidak ada proses panjang. Ini terjadi pada baris terakhir di mana perubahan yang sering terjadi pada nilai sel yang berdekatan mengakibatkan banyak jangka

pendek. Namun, untuk sebagian besar set data tematik yang berisi informasi area, pengkodean run-length secara substansial mengurangi ukuran set data raster.

Ada juga beberapa biaya akses data dalam pengkodean run-length. Akses data raster standar melibatkan penghitungan jumlah sel di seluruh baris untuk menemukan sel tertentu. Untuk menemukan sel dalam pengkodean run-length kita harus menjumlahkan sepanjang kode run-length untuk mengidentifikasi posisi sel. Ini biasanya merupakan biaya tambahan kecil, tetapi dalam beberapa aplikasi pertukaran antara kecepatan dan volume data mungkin tidak menyenangkan.

Representasi *pohon kuadrat* adalah metode kompresi raster lainnya. Pohon kuadrat mirip dengan pengkodean run-length karena mereka paling sering digunakan untuk mengompresi kumpulan data raster saat mewakili fitur area. Pohon kuadrat dapat dianggap sebagai struktur data raster dengan resolusi spasial variabel. Ukuran sel raster digabungkan dan disesuaikan dalam layer data agar sesuai dengan setiap fitur area tertentu. Sel raster besar yang cocok seluruhnya ke dalam satu area seragam diberi nilai yang sesuai dengan area tersebut; misalnya, tiga sel terbesar pada Gambar 2.56 semuanya diberi nilai a. Sel-sel yang lebih kecil kemudian dipasang, membagi dua dimensi sel pada setiap iterasi, lagi-lagi menyesuaikan sel terbesar yang akan muat di setiap area seragam. Cell yang lebih kecil secara berturut-turut ditentukan dengan memisahkan "sel campuran" menjadi empat kuadran, dan menetapkan nilai a atau b ke area seragam. Ini diulangi hingga ke ukuran sel terkecil yang diperlukan untuk mewakili area seragam pada detail yang diperlukan.



Gambar 2.56: Kompresi quad tree.

Ukuran sel yang bervariasi dalam representasi pohon quad membutuhkan pengindeksan yang lebih canggih daripada kumpulan data raster sederhana. Pointer digunakan untuk menghubungkan elemen data dalam struktur seperti pohon, maka dinamai pohon quad.

Ada banyak metode kompresi data lain yang umum diterapkan. LZW adalah metode kompresi lossless yang biasa diterapkan pada kumpulan data gambar dan raster, terutama gambar GIF dan format TIFF. Algoritma JPEG dan kompresi wavelet sering digunakan untuk memperkecil ukuran data spasial, khususnya *gambar* atau data lain, meskipun seperti yang diterapkan algoritma ini adalah algoritma lossy. Metode kompresi tingkat bit dan byte yang umum dapat diterapkan ke file apa pun untuk kompresi atau komunikasi. Biasanya ada biaya waktu untuk kompresi dan dekompresi.

2.8.4 Piramida Raster

Terkadang kami dengan sengaja meningkatkan ukuran kumpulan data raster kami tanpa meningkatkan resolusi dalam proses yang dikenal sebagai pyramiding. Kami membuat piramida untuk meningkatkan kecepatan tampilan jika dilihat dalam skala kecil ("diperbesar"). Waktu penggambaran ulang yang lama sering kali menghalangi penggunaan kumpulan data yang besar, terutama saat sering menggeser. Saat ditampilkan pada skala yang sangat kecil, ukuran sel dari kumpulan data mungkin lebih kecil dari resolusi layar komputer. Kumpulan data raster berukuran 1.000.000 piksel memiliki 1000 kali lipat data yang dapat ditampilkan pada monitor dengan resolusi horizontal 1000 piksel. Namun, perangkat lunak tampilan harus melewati semua 1.000.000 elemen data secara berurutan untuk memilih 1 sel dalam 1000 untuk ditampilkan. Meskipun perangkat lunak yang cerdas dapat membantu, ada batasan seberapa banyak kami dapat mempercepat penggambaran ulang.

Pyramiding pada dasarnya menyimpan salinan sel sub-sampel pada berbagai resolusi. Dalam contoh kami di atas, piramida dapat melakukan hal yang sama dengan menyimpan setiap dua, setiap empat, setiap 10, setiap 30, dan setiap 100 sel, semuanya dalam kumpulan data raster yang sama. Perangkat lunak kemudian membandingkan skala tampilan dengan dimensi kumpulan data, dan memilih resolusi sel yang paling sesuai untuk ditampilkan. Menggambar ulang jauh lebih cepat, dan transparan bagi pengguna.

Perhatikan bahwa kami mengatakan piramida "berlaku" menyimpan salinan sel pada berbagai resolusi. Ini adalah metode paling sederhana, tetapi seringkali bukan yang paling efisien untuk ruang atau kecepatan akses. Pengindeksan yang canggih dapat digunakan untuk menunjuk ke sel-sel pada resolusi yang sesuai.

Perhatikan bahwa pyramiding memiliki biaya, baik dalam ukuran dan kompleksitas kumpulan data raster. Skema pengindeksan memperumit struktur data raster sederhana, dan perangkat lunak harus mampu menavigasi skema pengindeksan. Kumpulan data raster yang sudah besar dapat ditingkatkan dari beberapa persen menjadi beberapa kali, meskipun dalam praktiknya biasanya ukurannya kurang dari dua kali lipat.

2.8.5 Format File Umum

Sejumlah kecil format file biasanya digunakan untuk menyimpan dan mentransfer data spasial. Beberapa dari struktur file ini muncul dari format distribusi yang diadopsi oleh departemen atau lembaga pemerintah. Lainnya didasarkan pada format yang ditentukan oleh vendor perangkat lunak, dan beberapa telah dirancang oleh badan pembuat standar. Beberapa pengetahuan tentang tipe, properti, dan konvensi penamaan umum dari format file ini sangat membantu praktisi GIS.

Format data geografis umum dapat ditempatkan ke dalam tiga kelas besar: raster, vektor, dan atribut. Format raster dapat dibagi lagi menjadi tipe file single-band dan multi-band. Kumpulan data raster multiband paling sering digunakan untuk menyimpan dan mendistribusikan data citra, sedangkan set data raster pita tunggal digunakan untuk menyimpan *gambar* pita tunggal dan data spasial nonimage. Tabel dibawah ini merangkum beberapa format data spasial yang paling umum.

Tabel 2.3 : Format yang paling digunakan pada sata spasial

Jenis dan Sumber	Ekstensi	Karakteristik ((R=Raster, V=Vektor, A=Atribut, I=Image)
Nilai yang dipisahkan koma	.csv	Format teks ASCII umum yang digunakan untuk mendistribusikan atribut dan seringkali informasi vektor (A, V)
DXF, AutoDesk	.dxf	Menggambar file pertukaran, file ASCII atau biner untuk bertukar data spasial (V)
DWG, AutoDesk	.dwg	File biner asli yang digunakan pada AutoDesk untuk menyimpan data geografis dan gambar di AutoCAD (V)
Geodatabase, ESRI	.json, .mdb	Penyimpanan ESRI untuk segala jenis data (R, V, A, I)
GeoJSON, open standard	.gpkg	Open standard untuk merepresentasikan dan menampilkan fitur geografiis (V, A)
GeoTIFF, Open standard	.TIF, .TFF	Open standard untuk merepresentasikan ketor dan data raster, cocok dengan Sqlite
GPX, open standard	.gpx	Ektensi untuk georeferencing domain publik format TIFF Aldus-Adobe (R)
Imagine, ERDAS	.img	Spesifikasi berdasarkan pada XML untuk dasara data GNSS
Interchange, ESRI	.e00	Format gambar berkapasitas multiband (R)
Keyhole Markup Language, Google	.KML	file teks ASCII untuk vektor dan identifikasi data atribut (V)
LAS,ASPRS	.LAS	Ekstensi XML untuk menampilkan dan menganotasi fitur dan gambar (V, I, A)
Shapefile, ESRI	.shp, .sshx, .dbf, .prj, dan lainnya	Cloud penyimpanan data laser point (V)
TIGER, U.S Census	tgrxxyy, stfzz	file biner 3 atau lebih, termasuk koordinat vektor, atribut, dan informasi lainnya (V, R)

MI/MID, MapInfo	.mif, .mid	Set pada file oleh area sensus amerika, xx adalah kode negara, yyy adalah kode area, zz jumlah variasi jenis file
MNetCDF, OGC	.cds	Format data Independen mesin untuk data array ilmiah (R, A, I)
NLAP, NASA	Variasi pada direktori	Data gambar dari bermacam-macam satelit Landsat. Dalam sebuah struktur direktori spesifik. (I, R)
STDS, U.S Governence	tidak ada	Standar transfer data spasial, spesifik obyek spasial, atribut, sistem referensi (R, V, A)

Sebagian besar perangkat lunak GIS menyediakan beberapa utilitas untuk impor dan ekspor data dari format standar, serta format khusus untuk tipe data dalam lingkup perangkat lunak; misalnya, paket analisis medan kemungkinan akan mendukung berbagai format data raster.

Ada inisiatif dan alat open source dengan nama GDAL, untuk Perpustakaan Abstraksi Data Geospasial, dengan menyediakan utilitas lintas platform untuk menerjemahkan di antara banyak format file vektor dan raster yang umum. Alat baris perintah dijelaskan dan dapat diunduh melalui tautan di www.gdal.org. Utilitas gratis ini fleksibel, dan sering kali dapat digunakan untuk memperluas jangkauan paket komersial, dengan terlebih dahulu menggunakan GDAL untuk mengonversi file dari jenis yang tidak didukung ke jenis yang didukung, lalu mengimpornya ke perangkat lunak target. Kode sumber GDAL tersedia di bawah lisensi Open Geospatial Foundation, dan telah digabungkan ke banyak alat sumber terbuka lainnya.

2.9 KESIMPULAN

Dalam bab ini kami telah menjelaskan cara-cara utama mengkonseptualisasikan entitas spasial, dan merepresentasikan entitas ini sebagai fitur spasial di komputer. Kami biasanya menggunakan dua konseptualisasi, juga disebut model data spasial: model data raster dan model data vektor. Kedua model menggunakan kombinasi koordinat, yang ditentukan dalam sistem Cartesian atau sferis, dan atribut, untuk mewakili fitur spasial kita. Fitur biasanya dipisahkan berdasarkan tipe tematik berlapis-lapis.

Model data vektor mendeskripsikan dunia sebagai sekumpulan fitur titik, garis, dan area. Atribut dapat dikaitkan dengan setiap fitur. Model data vektor membagi dunia itu menjadi fitur diskrit, dan sering kali mendukung hubungan topologis. Model vektor paling sering digunakan untuk merepresentasikan fitur yang dianggap diskrit, dan kompatibel dengan peta vektor, bentuk output umum.

Model data raster didasarkan pada sel kisi dan mewakili dunia sebagai "papan catur", dengan nilai seragam di dalam setiap sel. Model data raster adalah pilihan alami untuk merepresentasikan fitur yang terus berubah di seluruh ruang, seperti suhu atau curah hujan. Data dapat dikonversi antara model data raster dan vektor.

Kami menggunakan struktur data dan kode komputer untuk merepresentasikan konseptualisasi kami dalam bentuk yang lebih abstrak, tetapi kompatibel dengan komputer. Struktur ini dapat dioptimalkan untuk mengurangi ruang penyimpanan dan meningkatkan kecepatan akses, atau untuk meningkatkan pemrosesan berdasarkan sifat data spasial kami.

Karena berbagai alasan yang berkaitan dengan teknologi dan sejarah, Esri kini memiliki dua cara utama untuk menyimpan kumpulan data vektor: geodatabase, dan shapefile. Beberapa perbedaan berkaitan dengan fungsionalitas dan sebagian besar berkaitan dengan terminologi. Shapefile dan geodatabase memiliki banyak kesamaan. Geodatabases dan shapefile keduanya memungkinkan adanya multipoin. Keduanya juga menggambarkan poligon dengan cincin. Keduanya menggunakan polyline, terdiri dari segmen, dengan satu atau lebih jalur. Kesamaan berakhir di situ. Segmen geodatabase dapat berupa busur melingkar, busur elips, atau kurva Bézier. Geodatabase memungkinkan adanya hubungan topologi; shapefile tidak. Fitur utama dari geodatabase adalah kemampuan untuk menggunakan jaringan geometris (terdiri dari persimpangan dan tepi yang tidak hanya memiliki atribut, tetapi juga perilaku). Geodatabase menghitung panjang garis dan cincin, dan luas poligon — dan shapefile tidak melakukan semua itu. Geodatabase memungkinkan subtipe fitur, sedangkan shapefile tidak. Jadi, perbandingan semi-cerdas bahwa geodatabase adalah "shapefile pada steroid" sangat menyempitkan perbedaan-perbedaan itu.

Dalam hal struktur dan tata letak logis di dalam komputer, shapefile berada di permukaan. File yang membentuk shapefile dapat berada di mana saja pada hard disk, asalkan semuanya berada di folder yang sama. Data atribut selalu disimpan dalam tabel dBASE. Hanya satu tipe fitur—titik, multititik, garis, atau poligon—yang disimpan dalam shapefile tertentu.

Geodatabase pribadi adalah satu file di Microsoft Access. Sedangkan file atau geodatabase perusahaan dapat menggunakan salah satu dari beberapa sistem manajemen database yang tersedia secara komersial.

2.10 Soal Latihan

1. Apa perbedaan entitas dengan objek kartografi?
2. Menjelaskan tingkat abstraksi yang berurutan saat merepresentasikan fenomena spasial dunia nyata di komputer. Mengapa ada banyak level, bukan hanya satu level dalam representasi data spasial?
3. Tentukan model data dan jelaskan tiga perbedaan utama antara dua model data yang paling umum digunakan.
4. Tandai daftar berikut sebagai nominal, ordinal, atau interval / rasio:
    a. 1.1, 5.7, -23.2, 0.4, 6.67
    b. Green, red, blue, yellow, sepia
    c. White, light grey, dark grey, black
    d. Extra small, small, medium, large, extra large
    e. Forest, woodland, grassland, bare soil
    f. 1,2,3,4,5,6,7.
5. Tandai daftar berikut sebagai nominal, ordinal, atau interval / rasio:
    a. Spurs, Citizens, Reds, Hornets, Baggies, Toffees, Potters
    b. pinch, handful, bucket, bushel, truckload
    c. 6.2, 7.8, 1.1, 0,5, 19,3
    d. gram, kilogram, metrik ton

e. Indonesia, Korea, Kanada, Jerman, Singapura.
f. Small, smaller, smallest

6. Lengkapi tabel konversi koordinat berikut, ubah titik yang terdaftar dari derajat-menit-detik (DMS) menjadi derajat desimal (DD), atau dari DD ke DMS.

Point	DMS	Decimal Degrees
1	36°45'12"	36.75333
2	114°58'2"	
3	85°19'7"	
4		14.00917
5		275.00001
6		0.99528
7	183°19'22"	

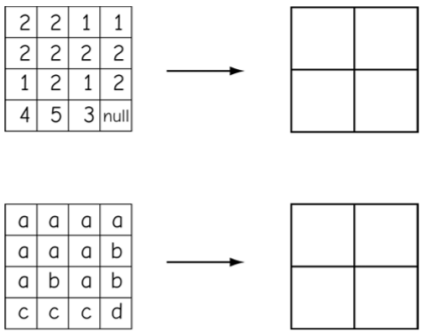
7. Lengkapi tabel konversi koordinat berikut, ubah titik yang terdaftar dari derajat-menit-detik (DMS) ke derajat desimal (DD), atau dari DD ke DMS.

Point	DMS	Decimal Degrees
1	97°45'10"	97.75278
2	122°10'2"	
3	15°0'12"	
4		322.19861
5		152.65583
6		5.75
7	23°12'50"	

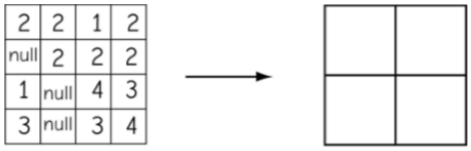
8. Apa itu topologi, dan mengapa itu penting? Apa itu topologi planar, dan kapan nonplanar mungkin lebih berguna daripada topologi planar?
9. Apa keuntungan dan kerugian masing-masing model data vektor vs. model data raster?
10. Dalam kondisi apa sel campuran menjadi masalah dalam model data raster? Dengan cara apa masalah sel campuran dapat diatasi?
11. Tunjukkan mana dari berikut ini yang merupakan koordinat geografis yang diijinkan:
    a. N45 45 '45”
    b. bujur -127.34795
    c. S96 12' 33"
    d. E 66 15 '60 "
    e. W -12 23' 55"
    f. N 56,9999
12. Tunjukkan mana dari berikut ini yang merupakan koordinat geografis yang diizinkan:
    a. N145 45’12 "
    b. garis lintang -62.34795
    c. S110 52’ 43 "
    d. S 49 15 '60 "
    e. N 89 59' 59"
    f. S -46.6000
13. Ekspresikan bilangan basis 10 berikut dalam notasi biner:
    a. 2
    b. 8
    c. 9

d. 17
e. 0
f. 128
g. 22
h. 19

14. Ekspresikan bilangan basis 10 berikut dalam notasi biner:
    a. 1
    b. 23
    c. 256
    d. 4
    e. 11
    f. 10
    g. 3
    h. 20
15. Ekspresikan bilangan biner berikut dalam notasi basis 10:
    a. 0101
    b. 0001
    c. 1111
    d. 00101101
    e. 1101
    f. 1011
    g. 10000001
    h. 11111111
16. Ekspresikan bilangan biner berikut dalam notasi basis 10:
    a. 1110
    b. 1001
    c. 0011
    d. 10000101
    e. 1000
    f. 1010
    g. 10010001
    h. 11110000
17. Gambar berikut menunjukkan perubahan dalam resolusi raster, yang menggabungkan empat sel kecil di sebelah kiri untuk membuat dan mengeluarkan output untuk setiap sel besar yang sesuai di sebelah kanan. Isikan dua raster di sebelah kanan, untuk data interval / rasio (atas), dan data nominal (bawah). Asumsikan nilai nol tidak diabaikan, dan aturan mayoritas untuk data nominal.



18. Gambar berikut menunjukkan perubahan dalam resolusi raster, menggabungkan empat sel kecil di sebelah kiri untuk membuat dan mengeluarkan output untuk setiap sel yang lebih besar di sebelah kanan. Isikan dua raster di sebelah kanan, untuk data interval / rasio (atas), dan data nominal (bawah). Asumsikan nilai nol tidak diabaikan, dan aturan mayoritas untuk data nominal.



19. Apakah jaringan tak beraturan triangulasi itu?
20. Mengapa kita menggunakan bilangan biner di komputer?
21. Mengapa kita perlu mengompres data? Manakah yang paling sering dikompresi, data raster, atau data vektor? Mengapa?
22. Apa pointer ketika digunakan dalam konteks data spasial, dan bagaimana mereka membantu dalam mengatur data spasial?
23. Apa konsep utama di balik model data objek, dan apa perbedaannya dari model data lainnya?
24. 2.24 - Tulis kode panjang proses untuk setiap baris dalam raster ini:

b	b	a	a	a	c	a	a	a
c	c	b	b	d	d	d	a	a
b	b	b	b	b	b	b	b	b
e	c	f	b	a	d	f	b	a
a	s	a	f	f	f	b	b	a

25. Tulis kode run length untuk setiap baris dalam raster ini:

c	c	c	c	a	a	a	a	a
a	a	b	b	d	d	d	a	a
e	e	e	f	f	f	f	f	e
a	a	a	a	a	a	a	a	a
c	c	a	a	a	b	f	d	e

2.11 DAFTAR PUSTAKA

Arctur, D., Zeiler, M. (2004). Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling. Redlands: ESRI Press.

Batcheller, J.K., Gittings, B.M., Dowers, S. (2007). The performance of vector oriented data storage in ESRI's ArcGIS. Transactions in GIS, 11:47–65.

Batty, M., Xie, Y. (1991). Model structures, exploratory spatial data analysis, and aggregation. International Journal of Geographical Information Systems, 8:291– 307.

Bhalla, N. (1991). Object-oriented data models: a perspective and comparative review. Journal of Information Science, 17:145–160.

Boguslawski, P., Gold, C.M., Ledoux, H. (2011). Modeling and analysing 3D buildings with a primal/dual data structure. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66:188–197.

Bregt, A.K., Denneboom, J., Gesink, H.J., van Randen, Y. (1991). Determination of rasterizing error: a case study with the soil map of The Netherlands. International Journal of Geographical Information Systems, 5:361-367.

Carrara, A., Bitelli, G., Carla, R. (1997). Comparison of techniques for generating digital terrain models from contour lines. International Journal of Geographical Information Systems, 11:451–473.

Congalton, RG. (1997). Exploring and evaluating the consequences of vector-to-raster and raster-to-vector conversion. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63:425–434.

Downs, R.M. (1998). The geographic eye: seeing through GIS. Transactions in GIS, 2:111–121.

Holroyd, F., Bell, S. B. M. (1992). Raster GIS: Models of raster encoding. Computers and Geosciences, 18:419–426.

Joao, E.M. (1998). Causes and Consequences of Map Generalization. London: TaylorFrancis.

Kumler, M.P. (1994). An intensive comparison of triangulated irregular networks (TINs) and digital elevation models. Cartographica, 31:1–99.

Langram, G. (1992). Time in Geographical Information Systems. London: Taylor and Francis.

78 GIS Fundamentals

Laurini, R., Thompson, D. (1992). Fundamentals of Spatial Information Systems. London: Academic Press.

Lee, J. (1991). Comparison of existing methods for building triangular irregular network models of terrain from grid digital elevation models. International Journal of Geographical Information Systems, 5:267–285.

Masser, I. (2005). GIS Worlds: Creating Spatial Data Infrastructures. Redlands: ESRI Press.

Nagy, G., Wagle, S.G. (1979). Approximation of polygonal maps by cellular maps. Communications of the Association of Computational Machinery, 22:518–525.

Peuquet, D.J. (1984). A conceptual framework and comparison of spatial data models. Cartographica, 21:66–113.

Peuquet, D.J. (1981). An examination of techniques for reformatting digital cartographic data. Part II: the raster to vector process. Cartographica, 18:375–394.

Piwowar, J.M., LeDrew, E.F., Dudycha, D.J. (1990). Integration of spatial data in vector and raster formats in geographical information systems. International Journal of Geographical Information Systems, 4:429–444.

Peuker, T. K., Chrisman, N. (1975). Cartographic Data Structures. The American Cartographer, 2:55–69.

Rana, S. (2004). Topological Data Structures for Surfaces: An Introduction to Geographical Information Science. New York: Wiley.

Rigaux, P., Scholl, M., Voisard, A. (Eds.) (2002). Spatial Databases: with Application to GIS. New York: Elsevier

Rossiter, D.G. (1996). A theoretical framework for land evaluation. Geoderma, 72:165–190.

Shaffer, C.A., Samet, H., Nelson R.C. (1990). QUILT: a geographic information system based on quadtrees. International Journal of Geographical Information Systems, 4:103–132.

Slocum, T.A., McMaster, R.B, Kessler, F.C., Howard, H.H. (2005). Thematic Cartography and Geographic Visualization. 2nd ed. New York: Prentice-Hall.

Tomlinson, R.F. (1988). The impact of the transition from analogue to digital cartographic representation. The American Cartographer, 15:249–262.

Tuan, A.N.G. (2013). Overview of three-dimensional GIS data models. International Journal of Future Computer and Communication, 2:270–274.

Chapter 2: Data Models 79

Wedhe, M. (1992). Grid cell size in relation to errors in maps and inventories produced by computerized map processes. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48:1289–1298.

Wilkie, D., Sewall, J., Lin, M.C. (2011). Transforming GIS data into functional road models for large-scale traffic simulation. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18:890–901.

Wise, S. (2002). GIS Basics. New York: Taylor & Francis.

Worboys, M.F., Duckham, M. (2004). GIS: A Computing Perspective. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

Zeiler, M. (1999). Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design. Redlands: ESRI Press.

Zhi-Jun L., D.E. Weller (2007). A stream network model for integrated watershed modeling. Environmental Modeling and Assessment, DOI:10.1007/s10666–007– 9083–9.

BAB 3
GEODESI, DATUM, PROYEKSI MAP DAN SISTEM KOORDINASI

3.1 Pendahuluan

Sistem informasi geografis berbeda dengan sistem informasi lain karena mengandung data spasial. Data spasial ini mencakup koordinat yang menentukan lokasi, bentuk, dan luas objek geografis. Untuk menggunakan GIS secara efektif, kita harus mengembangkan pemahaman yang jelas tentang bagaimana sistem koordinat dibuat untuk Bumi, bagaimana koordinat ini diukur pada permukaan lengkung Bumi, dan bagaimana koordinat ini diubah untuk digunakan dalam peta datar, baik digital maupun kertas. Bab ini memperkenalkan geodesi, ilmu pengukuran bentuk bumi, dan proyeksi peta, transformasi lokasi koordinat dari permukaan lengkung bumi menjadi peta datar.

Menentukan koordinat permukaan bumi diperumit oleh tiga faktor utama. Pertama, kebanyakan orang paling memahami geografi dalam sistem koordinat Kartesius di permukaan datar. Manusia secara alami melihat permukaan bumi sebagai permukaan datar, karena pada skala manusia kelengkungan bumi hampir tidak terlihat. Manusia telah menggunakan peta datar selama lebih dari 40 abad, dan meskipun globe cukup berguna untuk visualisasi pada skala yang sangat kecil, namun tidak praktis untuk sebagian besar tujuan.

Peta datar pasti mendistorsi geometri karena Bumi itu melengkung. Saat kita memplot koordinat lintang dan bujur pada sistem Kartesius, garis "lurus" akan tampak bengkok, dan poligon akan menjadi

terdistorsi. Distorsi ini mungkin sulit dideteksi pada peta detail yang mencakup area kecil, tetapi distorsi cukup terlihat pada peta area besar. Karena pengukuran pada peta dipengaruhi oleh distorsi, kita harus menggunakan proyeksi peta untuk menyesuaikan penggambaran permukaan lengkung bumi ke permukaan datar.

Masalah utama kedua dalam mendefinisikan sistem koordinat diakibatkan oleh bentuk bumi yang tidak beraturan. Kami belajar sejak awal bahwa Bumi berbentuk bola. Ini adalah perkiraan yang valid untuk banyak kegunaan, namun, ini hanya perkiraan. Kekuatan alam dulu dan sekarang menghasilkan bentuk Bumi yang tidak beraturan. Deformasi ini memengaruhi cara terbaik kami memetakan permukaan bumi, dan cara kami mendefinisikan sistem koordinat Kartesius untuk pemetaan dan GIS.

Ketiga, pengukuran kita jarang sekali sempurna, dan ini berlaku saat mengukur bentuk bumi, dan posisi pasti fitur-fitur di atasnya. Semua lokasi bergantung pada pengukuran yang mengandung beberapa kesalahan, dan pada analisis yang membutuhkan asumsi. Pengukuran kami meningkat seiring waktu, dan begitu pula kecanggihan analisis kami, sehingga perkiraan posisi kami meningkat; evolusi ini berarti perkiraan posisi kami berubah seiring waktu.

Karena ketiga faktor ini, kita sering memiliki beberapa kumpulan koordinat yang berbeda untuk menentukan lokasi yang sama di permukaan bumi. Ingat, koordinat adalah kumpulan angka yang menentukan lokasi secara jelas. Biasanya berupa nilai x dan y, atau mungkin nilai x, y, dan z, atau nilai lintang dan bujur yang unik untuk suatu lokasi. Tetapi nilai-nilai ini hanya "unik" untuk lokasi untuk kumpulan pengukuran dan waktu tertentu. Koordinat bergantung pada bagaimana kita menerjemahkan titik-titik dari Bumi yang melengkung ke permukaan

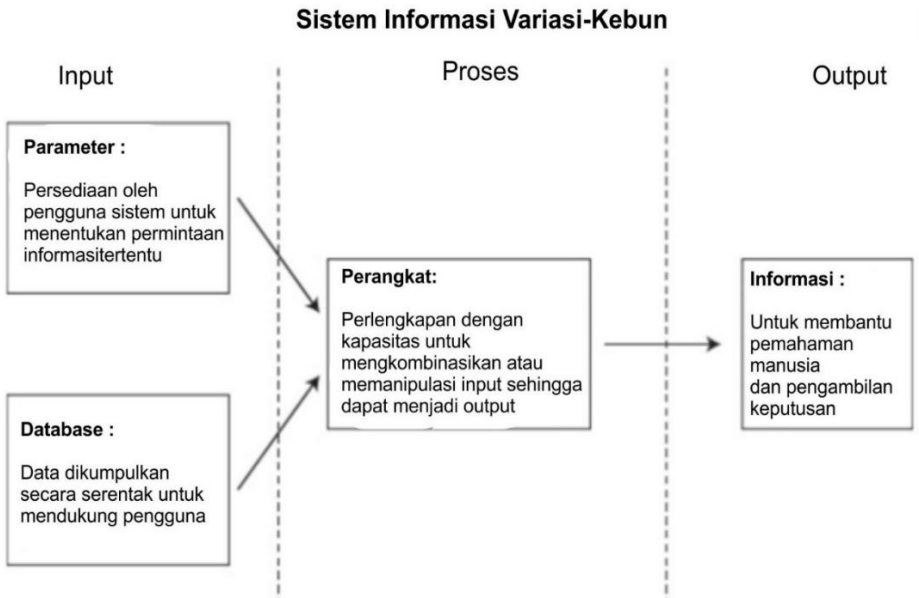
peta datar (faktor pertama, di atas), perkiraan yang kita gunakan untuk bentuk nyata Bumi (faktor kedua), dan kumpulan pengukuran apa yang kita referensikan pada koordinat kita. (faktor ketiga). Kita mungkin, dan sering kali, menangani ketiga faktor ini dengan beberapa cara berbeda, dan koordinat untuk titik yang sama akan berbeda untuk pilihan yang berbeda.

3.2 Sistem Informasi

Persoalan “mengolah” data dalam bentuk map (analog) versus bentuk simbol (digital) membawa kita pada persoalan pengolahan atau penanganan data secara umum. Model konseptual yang akan digunakan adalah data diolah untuk menghasilkan informasi. Sebenarnya istilah tersebut tidak mutlak, karena apa yang menjadi informasi bagi seseorang yang mengisi suatu peran bisa jadi merupakan data bagi orang lain yang mengisi peran lainnya. Namun, gagasan tentang konsep sebelum-sesudah, yang membedakan dua keadaan sebagai data dan informasi, ternyata berguna, jadi kita dapat menerapkannya.

Suatu sistem informasi, dalam konteks materi ini, adalah sekumpulan langkah, atau sekumpulan proses yang dijalankan oleh sebuah “perangkat” untuk menghasilkan informasi. Kami memutuskan untuk menyebut simbol yang dimasukkan ke proses dengan dua nama: data dan parameter. “Data” sudah kita diskusikan beserta pembentukannya menjadi basis. “Parameter” kami anggap sebagai informasi, yang disediakan oleh pengguna sistem informasi pada saat menggunakan sistem. Parameter tersebut mungkin menentukan data mana dalam basis yang akan digunakan, bagaimana mereka akan digabungkan, seperti apa format informasi yang dihasilkan — keluaran — akan menjadi, dan spesifikasi dan/atau batasan lainnya.

Misalnya, seorang profesor menugaskan mahasiswanya untuk menyusun bibliografi karya Shakespeare. Database tersebut mungkin berupa katalog perpustakaan; parameternya adalah istilah deskriptif seperti "bibliografi". "Shakespeare", "kata yang diroses"; perangkatnya adalah mahasiswa, yang, dengan matanya, pensil, pengolah kata, dan seterusnya menghasilkan informasi. Gambar ini adalah diagram sistem informasi generik.



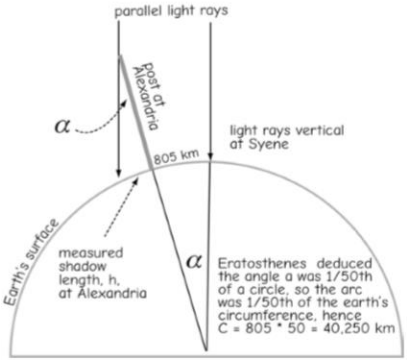
Gambar 3.1 Skema sistem informasi umum

3.2.1 Pengukuran Awal

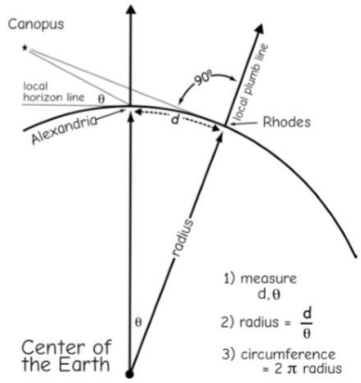
Dalam menentukan sistem koordinat, pertama-tama kita harus menentukan ukuran dan bentuk bumi. Manusia sudah lama berspekulasi tentang ini. Orang Babilonia percaya bahwa Bumi adalah piringan datar yang mengambang di lautan yang tak berujung, sedangkan Pythagoras Yunani, dan kemudian Aristoteles, beralasan bahwa Bumi pasti bulat. Dia mengamati bahwa kapal menghilang di cakrawala, bulan tampak seperti bola, dan bahwa bintang-bintang bergerak dalam pola melingkar, semua pengamatan konsisten dengan Bumi bulat.

Selanjutnya, orang Yunani berbalik memperkirakan ukuran bola. Orang Yunani awal mengukur lokasi di permukaan bumi relatif terhadap Matahari atau bintang, dengan alasan bahwa mereka menyediakan kerangka acuan yang stabil. Asumsi ini mendasari sebagian besar pengamatan geodetik yang diambil selama 2000 tahun terakhir, dan masih berlaku hingga saat ini, dengan penyempurnaan yang sesuai.

Eratosthenes, seorang sarjana Yunani di Mesir, melakukan salah satu pengukuran keliling Bumi yang paling awal dan paling tepat. Dia memperhatikan bahwa pada titik balik matahari musim panas, matahari pada siang hari menyinari dasar sumur dalam di Syene, dekat Tropic of Cancer, sehingga matahari tepat berada di atas kepala selama titik balik matahari musim panas. Dia juga mengamati bahwa 805 km di utara Alexandria, pada tanggal dan waktu yang persis sama, sebuah tiang vertikal menghasilkan bayangan. Kombinasi bayangan / tiang menentukan sudut sekitar 7°12 ', atau sekitar 1/50 lingkaran.



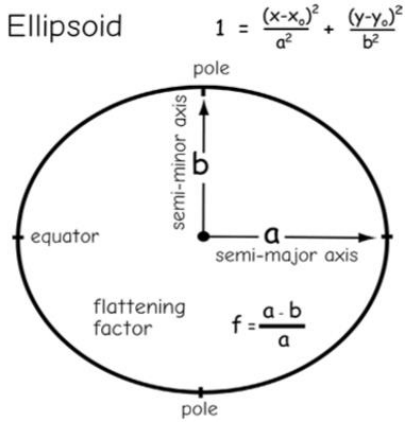
Gambar 3.2 : Pengukuran dilakukan oleh Eratosthenes untuk menentukan keliling Bumi.



Gambar 3.3 : Posidonius memperkirakan jari-jari bumi dengan pengukuran simultan sudut puncak pada dua titik. Dua titik dipisahkan oleh jarak busur d yang diukur di permukaan bumi.

Titik-titik ini juga menjangkau sudut θ yang ditentukan di pusat Bumi. Jari-jari bumi terkait dengan d dan θ. Setelah radius dihitung, keliling bumi dapat ditentukan. Perhatikan bahwa ini adalah perkiraan, bukan perkiraan pasti, tetapi sesuai untuk pengukuran yang tersedia pada saat itu (diadaptasi dari Smith, 1997).

Eratosthenes menyimpulkan bahwa Bumi harus memiliki keliling 805 kali dikalikan 50, atau sekitar 40.250 kilometer kelilingnya. Perhitungannya semua dalam stadia, satuan ukuran waktu, dan telah diubah di sini menjadi metrik yang setara, menggunakan gagasan terbaik kami tentang panjang stadia. Perkiraan Eratosthenes berbeda dengan pengukuran keliling Bumi modern kurang dari 4%.



Gambar 3.4 : Model elipsoidal bentuk bumi.

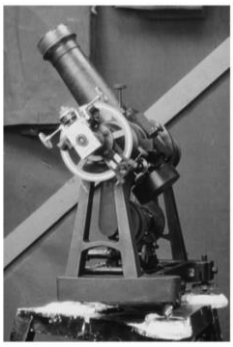
Posidonius, sarjana Yunani lainnya, membuat perkiraan independen tentang ukuran Bumi dengan mengukur sudut dari garis vertikal (tegak lurus) lokal ke bintang di dekat cakrawala. Bintang yang terlihat di langit malam menentukan referensi seragam. Sudut antara garis tegak lurus dan lokasi bintang disebut sudut zenit. Sudut zenit dapat diukur secara bersamaan di dua lokasi di Bumi, dan perbedaan antara dua sudut zenit dapat digunakan untuk menghitung keliling Bumi. Bintang bernama Canopus berada di cakrawala di Rhodes, yang berarti sudut puncak di Rhodes adalah 90 derajat. Dia juga memperhatikan Canopus berada di atas cakrawala di Alexandria, yang berarti sudut puncak kurang dari 90 derajat. Jarak permukaan antara dua lokasi ini juga diukur, dan pengukuran tersebut digabungkan dengan perkiraan hubungan geometris untuk menghitung keliling bumi. Posidonius menghitung perbedaan sudut puncak di Canopus sekitar 1/48 lingkaran antara Rhodes dan Aleksandria. Dengan memperkirakan dua kota ini berjarak sekitar 800 kilometer, ia menghitung keliling bumi menjadi 38.600 kilometer. Sekali lagi ada kesalahan kompensasi, menghasilkan nilai yang akurat. Ilmuwan Yunani lainnya menentukan kelilingnya menjadi 28.960 kilometer, dan sayangnya ukuran ini lebih pendek diadopsi oleh Ptolemy untuk peta dunianya. Perkiraan ini diterima secara luas hingga tahun 1500-an, ketika Gerardus Mercator merevisi angka tersebut ke atas.

Selama abad ke-17 dan ke-18, Isaac Newton dan yang lainnya beralasan bahwa Bumi harus diratakan karena gaya rotasi. Mereka berpendapat bahwa gaya sentrifugal menyebabkan daerah ekuator bumi membengkak saat berputar pada porosnya. Mereka mengusulkan Bumi akan lebih baik dimodelkan dengan elipsoid, sebuah bola yang sedikit pipih di kutub. Pengukuran yang kompleks, berulang, dan sangat akurat menetapkan bahwa kelengkungan

bumi lebih besar di khatulistiwa daripada di kutub, dan elipsoid adalah model geometris terbaik dari permukaan bumi.

3.2.2 Menentukan Ellipsoid

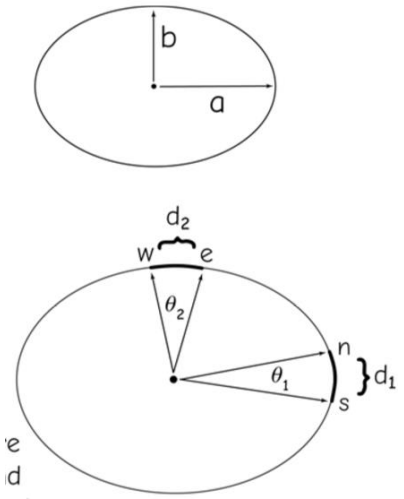
Upaya kemudian difokuskan pada pengukuran secara tepat ukuran elipsoid bumi. Ellipsoid memiliki dua dimensi karakteristik. Ini adalah sumbu semi-mayor, jari-jari a di arah ekuator, dan sumbu semiminor, jari-jari b di arah kutub. Jari-jari ekuator selalu lebih besar dari jari-jari kutub elipsoid Bumi. Perbedaan jari-jari kutub dan ekuator ini juga dapat dijelaskan oleh faktor perataan.



Gambar 3.5: Alat yang digunakan di awal tahun 1900-an untuk mengukur posisi benda langit.

Jari-jari bumi telah ditentukan dengan sejumlah metode. Metode yang paling umum sampai saat ini telah melibatkan pengamatan astronomi yang mirip dengan Posidonius. Lokasi bintang dan matahari telah diamati dan dikatalogkan selama berabad-abad. Jika digabungkan dengan jam yang akurat, posisi benda langit dapat digunakan untuk menentukan garis lintang dan bujur titik di permukaan bumi secara tepat. Pengukuran selama abad ke-18, 19 dan awal abad ke-20 menggunakan instrumen optik untuk pengamatan langit.

Pengamatan langit dari bintang-bintang digabungkan dengan pengukuran permukaan jarak jauh di area yang luas. Jarak dan sudut terkait diukur dalam arah kutub dan ekuator, dan digunakan untuk memperkirakan jari-jari di sepanjang busur. Beberapa pengukuran sering digabungkan untuk memperkirakan sumbu semi-mayor dan semi-minor.



Gambar 3.6 Elipsoid didefinisikan sebagian oleh dua jari-jari, a dan b

Kami dapat menggunakan hubungan tersebut d = r.θ untuk memperkirakan jari-jari:

$$d = r.\theta$$

$$a = \frac{d1}{\theta 1}$$

$$b = \frac{d2}{\theta 2}$$

Umumnya, pengukurannya tidak di kutub dan ekuator, dan matematika lebih rumit, tetapi prinsipnya sama

Tabel 3.1 Ellipsoid resmi, Jari-jari dapat ditentukan lebih tepat daripada 0,1 meter yang ditunjukkan di sini

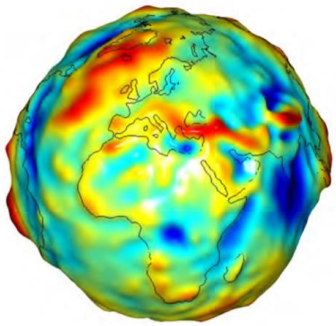
Secara historis, survei geodetik diisolasi oleh badan air yang besar. Misalnya, survei di Australia tidak menjangkau Samudra Pasifik hingga mencapai Asia. Instrumen optik mendominasi sebelum awal abad ke-20, dan jarak penglihatan dibatasi oleh lengkungan Bumi. Kaki survei individu yang lebih besar dari 50 kilometer (30 mil) jarang terjadi, tidak ada cara yang baik untuk menghubungkan survei melintasi lautan. Karena survei kontinental diisolasi, parameter ellipsoidal cocok untuk setiap negara, benua, atau wilayah survei yang luasnya sebanding. Ellipsoid ini mewakili pengukuran dan kondisi kontinental.

Karena kesalahan pengukuran dan perbedaan metode untuk penghitungan ellipsoidal, dan karena bentuk bumi bukanlah elipsoid yang sempurna (dijelaskan di bagian selanjutnya), ellipsoid yang berbeda di seluruh dunia biasanya memiliki asal, orientasi sumbu, dan jari-jari yang sedikit berbeda. Perbedaan ini, walaupun kecil, seringkali menghasilkan perkiraan yang sangat berbeda untuk lokasi koordinat pada suatu titik tertentu, bergantung pada ellipsoid yang digunakan.

Name	Year	equatorial Radius, a meters	Polar Radius, b meters	Flatten-ing Factor	Users
Airy	1830	6,377,563.4	6,356,256.9	1/299.32	Great Britain
Bessel	1841	6,377,397.2	6,356,079.0	1/299.15	Central Europe, Chile, Indonesia
Clarke	1866	6,378,206.4	6,356,583.8	1/294.98	North America; Philip-pines
Clarke	1880	6,378,249.1	6,356,514.9	1/293.46	Most of Africa; France
Interna-tional	1924	6,378,388.0	6,356,911.9	1/297.00	Much of the world
Australian	1965	6,378,160.0	6,356,774.7	1/298.25	Australia
WGS72	1972	6,378,135.0	6,356,750.5	1/298.26	NASA, U.S. DOD
GRS80	1980	6,378,137.0	6,356,752.3	1/298.26	Worldwide
WGS84	1987 – current	6,378,137.0	6,356,752.3	1/298.26	U.S. DOD, Worldwide

Baru-baru ini, data yang berasal dari satelit, laser, dan sinyal waktu siaran telah digunakan untuk pengukuran posisi relatif yang sangat tepat di seluruh benua dan lautan. Pengukuran global dan komputer yang lebih cepat memungkinkan kami memperkirakan ellipsoid yang berlaku secara global. Ellipsoid ini memberikan ellipsoid kesesuaian "terbaik" secara keseluruhan untuk pengukuran yang diamati di seluruh dunia. Ellipsoid global seperti GRS80 atau WGS84 sekarang lebih disukai dan paling banyak digunakan.

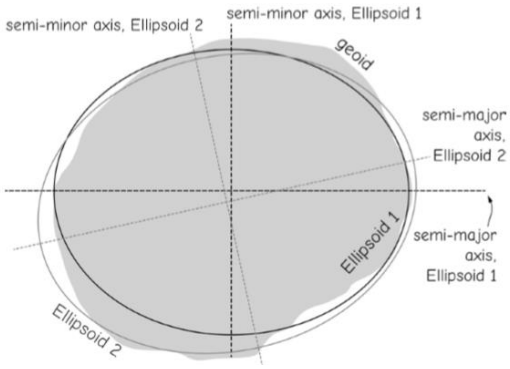
3.2.3 Geoid



Gambar 3.7: Penggambaran medan gravitasi bumi, seperti yang diperkirakan dari pengukuran satelit. Ini menunjukkan undulasi, yang sangat dibesar-besarkan, dalam gravitasi bumi, dan karenanya pada geoid (milik University of Texas Center for Space Research, dan NASA).

Seperti disebutkan di bagian sebelumnya, bentuk sebenarnya dari Bumi sedikit berbeda dari permukaan elipsoid yang secara matematis mulus. Perbedaan kepadatan bumi menyebabkan variasi dalam kekuatan tarikan gravitasi, pada gilirannya menyebabkan daerah menukik atau membengkak di atas atau di bawah elipsoid referensi. Bentuk bergelombang ini disebut geoid.

Ahli geodesi mendefinisikan geoid sebagai permukaan tiga dimensi di mana tarikan gravitasi adalah konstanta yang ditentukan. Permukaan geoidal dapat dianggap sebagai laut imajiner yang menutupi seluruh Bumi dan tidak terpengaruh oleh angin, gelombang, bulan, atau gaya selain gravitasi Bumi. Permukaan geoid meluas ke seluruh Bumi, kira-kira pada permukaan laut rata-rata di seberang lautan, dan berlanjut di bawah benua pada tingkat yang ditentukan oleh gravitasi. Permukaan selalu tegak lurus dengan arah gravitasi lokal, dan permukaan ini adalah acuan pengukuran ketinggian.



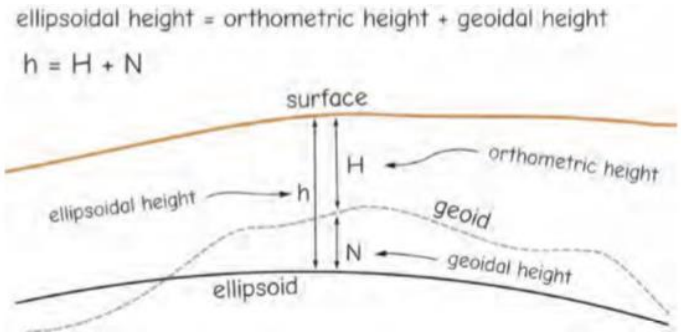
Gambar 3.8 : Berbagai elipsoid diperkirakan karena ketidakteraturan lokal dalam bentuk Bumi. Elipsoid terbaik lokal bervariasi dari yang paling cocok secara global, tetapi hingga tahun 1970-an, hanya ada sedikit cara yang baik untuk menggabungkan pengukuran geodetik global.

Gambar diatas menunjukkan bagaimana perbedaan bentuk bumi akibat penyimpangan geoidal akan menghasilkan ellipsoid lokal terbaik yang berbeda. Survei satu bagian Bumi yang paling sesuai dengan titik yang disurvei akan menghasilkan perkiraan terbaik yang berbeda dari asal ellipsoid, orientasi sumbu, dan a dan b dibandingkan survei bagian lain di Bumi.

Kita harus menekankan bahwa permukaan geoid berbeda dari permukaan laut rata-rata. Permukaan laut rata-rata mungkin lebih tinggi atau lebih rendah dari permukaan geoidal karena arus laut, suhu, salinitas, dan variasi angin dapat menyebabkan tinggi atau rendahnya wilayah di lautan. Perbedaan ini dapat diukur, di tempat-tempat yang lebih dari satu meter (3 kaki), mungkin kecil dalam skala global, tetapi besar dalam analisis lokal atau regional. Kami secara historis merujuk ketinggian ke permukaan laut, dan banyak yang percaya kami masih melakukannya, tetapi ini tidak lagi berlaku untuk sebagian besar analisis data spasial.

Karena kita memiliki dua permukaan referensi, geiod dan ellipsoid, kita juga memiliki dua dasar untuk mengukur ketinggian. Elevasi biasanya didefinisikan sebagai jarak di atas geoid. Ketinggian di atas geoid ini juga disebut ketinggian ortometrik. Ketinggian di atas ellipsoid sering disebut sebagai tinggi ellipsoidal. Tinggi elipsoidal berlabel h dan tinggi ortometrik diberi label H. Perbedaan antara tinggi ellipsoidal dan tinggi geoid di lokasi manapun, memiliki berbagai nama, termasuk tinggi geoid dan pemisahan geoidal.

Nilai absolut dari ketinggian geoidal kurang dari 100 meter di sebagian besar wilayah Bumi. Meskipun pada awalnya mungkin tampak sulit untuk dipercaya, permukaan laut "rata-rata" di dekat Islandia lebih dari 150 meter "lebih tinggi" daripada permukaan laut di timur laut Jamaika. Perbedaan ketinggian ini diukur relatif terhadap ellipsoid. Karena gravitasi menarik ke arah yang tegak lurus dengan permukaan geoidal, gaya berada pada sudut yang tepat ke permukaan laut, menghasilkan tonjolan dan penurunan yang terus-menerus di permukaan laut rata-rata karena variasi tarikan gravitasi. Variasi ketinggian laut karena gelombang besar dan gelombang yang didorong angin lebih terlihat pada skala lokal, tetapi jauh lebih kecil daripada gelombang geoidal jarak jauh.



Gambar 3.9: Tinggi elipsoidal, ortometrik, dan geoidal saling terkait. Perhatikan bahwa nilai untuk N sangat dilebih-lebihkan dalam gambar ini - nilai untuk N biasanya jauh lebih kecil dari H. Kita sering menggunakan rumus ini, misalnya, untuk menghitung tinggi ortometrik (elevasi) ketika kita mengetahui tinggi ellipsoidal (katakanlah, dari GPS), dan ketinggian geoidal (dari model nasional).

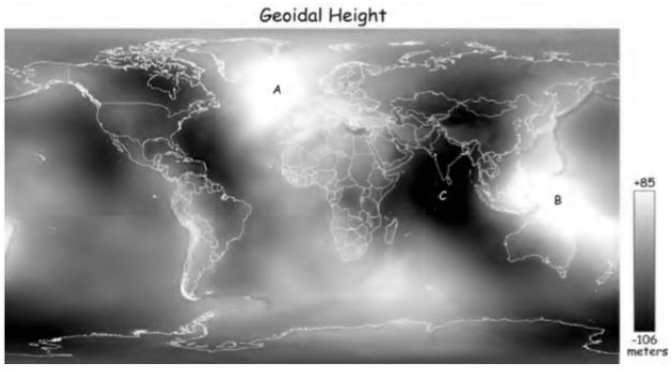
Ketinggian geoid relatif relatif kecil terhadap jari-jari kutub dan ekuator. Seperti tercantum dalam Tabel 3-1, radius ekuator Bumi adalah sekitar 6.780.000 meter, atau sekitar 32.000 kali rentang ketinggian geoidal tertinggi hingga terendah. Ketinggian geoidal kecil ini tidak terlihat pada skala manusia. Misalnya, ketinggian geoidal terbesar adalah kurang dari ketebalan relatif

layer cat pada bola berdiameter 3 meter (10 kaki). Namun, meskipun relatif kecil, variasi bentuk geoid masih harus dipertimbangkan untuk pemetaan vertikal dan horizontal yang akurat pada jarak benua atau global.

Geoid adalah permukaan yang diukur dan diinterpolasi, dan bukan permukaan yang ditentukan secara matematis. Permukaan geoid diukur menggunakan sejumlah metode, awalnya dengan kombinasi plumb bob, beban yang digantungkan oleh tali yang menunjukkan

arah gravitasi, dan pengukuran jarak horizontal dan vertikal, dan kemudian dengan berbagai jenis gravimeter. perangkat yang mengukur gaya gravitasi.

Pengukuran berbasis satelit di akhir abad ke-20 secara substansial meningkatkan cakupan global, kualitas, dan kepadatan pengukuran ketinggian geoidal. Eksperimen GRACE, yang dimulai dengan peluncuran satelit kembar pada tahun 2002, adalah contoh peningkatan tersebut. Jarak antara sepasang satelit terus diukur saat mereka mengorbit Bumi. Satelit ditarik lebih dekat atau melayang lebih jauh dari Bumi karena variasi medan gravitasi. Karena jalur orbit berubah sedikit setiap hari, kita akhirnya memiliki cakupan Bumi yang hampir lengkap dari kekuatan gravitasi, dan karenanya lokasi dari permukaan gravitasi referensi. Satelit ESA GOCE, diluncurkan pada tahun 2009, menggunakan akselerometer presisi untuk mengukur perubahan kecepatan yang disebabkan oleh gravitasi. Pengamatan GRACE dan GOCE telah secara substansial meningkatkan perkiraan kami tentang medan gravitasi dan bentuk geoidal.



Gambar 3.10: Ketinggian geoidal bervariasi di seluruh dunia. Gambar ini menggambarkan ketinggian geoidal positif dalam warna yang lebih terang (geoid di atas ellipsoid) dan tinggi geoidal negatif dengan warna yang lebih gelap. Perhatikan bahwa ketinggian geoidal positif untuk area yang luas di dekat Islandia dan Filipina (masing-masing A dan B), sedangkan nilai negatif yang besar ditemukan di selatan India (C). Perbatasan benua dan negara ditampilkan dengan warna putih.

Gambar 3.11 : Alat ukur medan portabel, alat yang digunakan untuk mengukur gaya gravitasi di suatu lokasi medan. Pengukuran ini digabungkan dengan pengukuran survei untuk memperkirakan permukaan geoidal (milik NOAA).

3.3 Datum Horisontal

Sistem koordinat geografis yang dijelaskan pada bab sebelumnya didasarkan pada garis meridian nol yang melintas di dekat Observatorium Greenwich, di Inggris. Namun, ini memberi kita bujur yang tepat dari hanya satu busur, garis bujur nol. Kita harus memperkirakan bujur dan lintang semua lokasi lain melalui pengukuran survei, hingga saat ini dengan mengamati bintang dan dengan mengukur jarak dan arah antar titik. Metode survei ini telah digantikan oleh pemosisian berbasis satelit modern, tetapi bahkan metode baru ini pada akhirnya bergantung pada pengamatan astronomi. Melalui metode ini kami menetapkan sekumpulan titik di Bumi yang posisi horizontal dan vertikalnya telah ditentukan secara akurat. Titik-titik yang ditentukan secara akurat ini dan permukaan terukur dan matematis yang terkait adalah datum, referensi yang digunakan untuk mengukur semua lokasi lainnya.

Titik-titik yang disurvei dengan baik ini memungkinkan kami untuk menentukan kerangka acuan, termasuk titik asal atau titik awal. Jika kita menggunakan kerangka referensi ellipsoidal, kita juga harus menentukan orientasi dan jari-jari ellipsoid kita. Jika kita menggunakan kerangka acuan Cartesian tiga dimensi, kita harus menentukan sumbu X, Y, dan Z, termasuk asal dan orientasinya. Kita dapat memilih nilai yang berbeda untuk berbagai bagian dari kerangka acuan kita, dan karenanya akan memiliki kerangka acuan yang berbeda. Semua lokasi koordinat lain yang kami gunakan diukur dengan mengacu pada kerangka referensi yang dipilih. Kami kemudian harus dengan susah payah mengukur sekumpulan titik yang sangat akurat secara tepat, sehingga kami dapat mengungkapkan lokasi yang berhubungan dengan kerangka referensi ini. Selama sebagian besar dari 150 tahun terakhir, pengamatan yang paling akurat dirujuk ke matahari, bintang, atau benda langit lainnya, karena memberikan kerangka acuan yang paling stabil.

Gambar 3.12 : Pengamatan astronomi digunakan dalam survei geodetik awal untuk mengukur lokasi datum (milik NOAA).

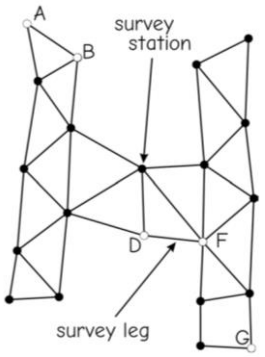
Banyak negara memiliki badan pemerintah yang bertugas membuat survei poin yang tepat untuk membantu menentukan kerangka acuan ini, dan membuat kerangka tersebut berguna bagi pengguna. Misalnya, sebagian besar survei negara-negara asia terkait kembali ke titik akurasi tinggi yang dikelola oleh National Geodetic Survey (NGS). NGS menetapkan garis lintang geodetik dan bujur dari titik-titik yang diketahui, yang sebagian besar dibuat dengan cakram perunggu, tiang beton, atau penanda tahan lama lainnya.

Datum yang berbeda ditentukan sepanjang waktu karena realisasi kita, atau perkiraan datum, berubah seiring waktu. Poin baru ditambahkan dan metode survei meningkat. Kami memperbarui datum kami secara berkala ketika ada cukup pengukuran baru atau lebih baik dari titik survei, atau ketika kami mengubah parameter kerangka referensi (misalnya, asal, bentuk ellipsoid). Kami melakukan ini dengan memperkirakan kembali koordinat titik datum kami setelah menyertakan perubahan ini, sehingga meningkatkan perkiraan posisi setiap titik.

Ada dua era utama datum, yang dibuat sebelum geodesi satelit, dan yang setelahnya. Teknologi penentuan posisi satelit menjadi hal yang biasa dalam dekade terakhir abad ke-20, dan secara substansial meningkatkan jumlah dan akurasi titik datum. Data dan koordinat yang ditemukan saat ini adalah campuran dari yang dikembangkan di bawah datum pra-satelit, dan yang direferensikan ke datum pasca-satelit, sehingga pengguna GIS harus terbiasa dengan keduanya.

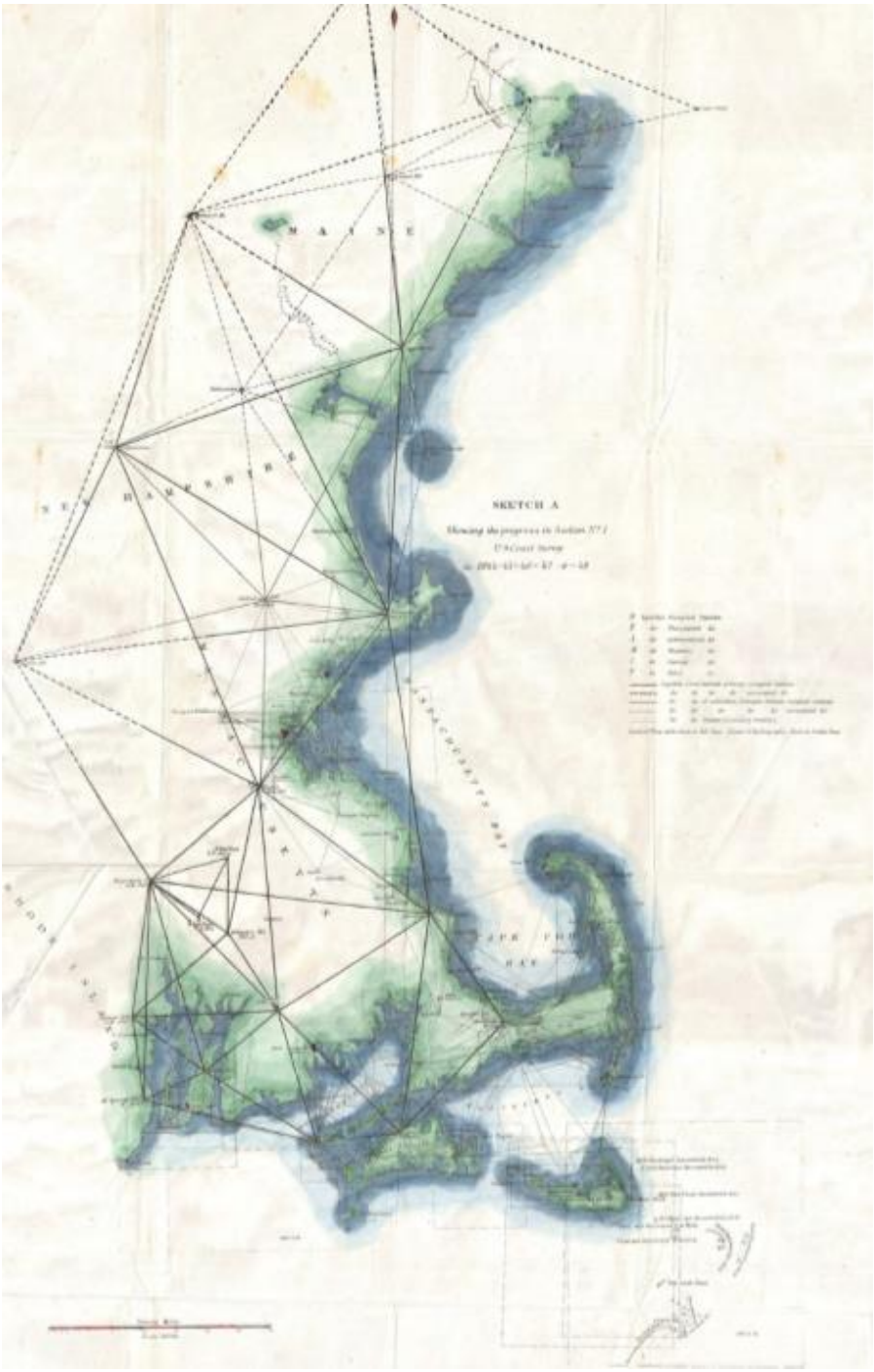
Survei geodetik pada abad ke-18 dan ke-19 menggabungkan pengukuran horizontal dengan pengamatan astronomi yang berulang dan sangat tepat. Pengamatan astronomi biasanya digunakan di titik awal, beberapa titik perantara, dan di dekat akhir survei geodetik. Penentuan posisi astronomi memerlukan pengukuran berulang selama beberapa malam. Awan, kabut, atau bulan purnama sering kali memperpanjang waktu pengukuran. Selain itu, pengukuran langit membutuhkan koreksi untuk refraksi atmosfer, suatu proses yang membelokkan cahaya dan mengubah posisi bintang yang tampak.

Secara historis, survei optik horizontal sama persis dan jauh lebih cepat daripada metode astronomi saat mengukur jarak hingga beberapa puluh kilometer. Pengukuran permukaan horizontal ini digunakan untuk menghubungkan titik-titik yang disurvei secara astronomis dan dengan demikian menciptakan serangkaian titik datum yang diketahui dan terdistribusi dengan baik.



Gambar diatas menunjukkan contoh survei, di mana lingkaran terbuka menandakan titik-titik yang ditentukan oleh pengukuran astronomi dan lingkaran yang terisi menunjukkan titik-titik yang ditetapkan oleh pengukuran permukaan. Ini juga mengilustrasikan survei triangulasi, biasanya digunakan sebelum penentuan posisi satelit. Survei triangulasi menggunakan

jaringan segitiga yang saling terkait untuk menentukan posisi di stasiun survei. Survei triangulasi diadopsi karena kami dapat membuatnya melalui pengukuran sudut optik, dengan sedikit pengukuran jarak permukaan, keuntungan di akhir abad ke-18 dan awal abad ke-19 ketika banyak datum pertama kali dikembangkan. Triangulasi juga meningkatkan akurasi; Karena ada beberapa pengukuran untuk setiap stasiun survei, lokasi di setiap stasiun dapat dihitung dengan berbagai jalur. Akurasi survei dapat diperiksa di lapangan, karena perbedaan besar dalam lokasi stasiun yang dihitung melalui jalur yang berbeda menunjukkan kesalahan survei. Ketika kesalahan yang tidak dapat diterima ditemukan, garis survei diukur ulang.



Gambar 3.14 : Peta jaringan survei triangulasi membentuk pantai, pada awal tahun 1800-an. Setiap kaki segitiga, yang ditampilkan di sini sebagai satu garis, pada gilirannya merupakan

survei triangulasi. Triangulasi Nested ini memberikan pengukuran penguatan, sehingga meningkatkan akurasi posisi yang disurvei (milik NOAA).

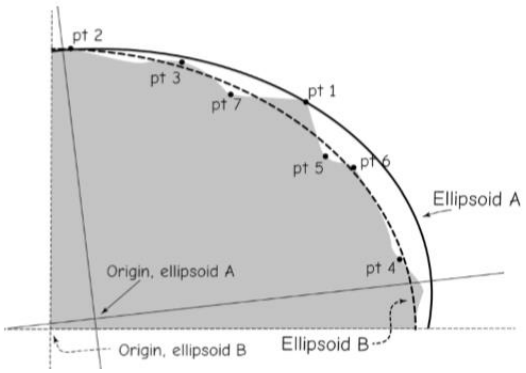
Jaringan triangulasi membentang jarak jauh, dari negara ke benua. Pengukuran individual dari survei triangulasi ini jarang lebih dari beberapa kilometer; namun triangulasi disarangkan, di mana kaki-kaki triangulasi digabungkan untuk membentuk segitiga yang lebih besar yang membentang ratusan kilometer. Ini ditunjukkan pada, di mana sisi dari setiap segitiga besar tersusun dari lintasan triangulasi yang lebih kecil.

3.3.1 Penyesuaian Datum

Setelah titik yang cukup besar telah disurvei, pengukuran survei harus diselaraskan menjadi satu set koordinat yang konsisten. Ketidakkonsistenan kecil tidak dapat dihindari dalam serangkaian pengukuran besar yang menyebabkan ambiguitas di lokasi. Selain itu, secara historis jangkauan panjang yang direntang oleh jaringan triangulasi, dapat membantu dalam menghitung ulang konstanta tertentu, seperti kelengkungan Bumi. Posisi semua titik dalam datum referensi diperkirakan dalam penyesuaian datum seluruh jaringan. Penyesuaian datum mendamaikan kesalahan di seluruh jaringan, pertama dengan menghilangkan kesalahan atau kesalahan yang jelas, dan juga dengan meminimalkan kesalahan secara matematis dengan menggabungkan pengukuran berulang dan secara statistik memberikan pengaruh yang lebih tinggi ke pengukuran yang lebih tepat. Perhatikan bahwa penyesuaian datum tertentu hanya menggabungkan pengukuran hingga titik waktu tertentu, dan dapat dilihat sebagai perkiraan terbaik kami, pada saat itu, dari kumpulan lokasi yang diukur.

Penyesuaian datum berkala menghasilkan rangkaian datum referensi regional atau global. Setiap datum digantikan oleh datum yang lebih baik dan lebih akurat. Umumnya penyesuaian statistik kuadrat terkecil dilakukan, tetapi ini bukan latihan yang sepele, mengingat penyesuaian tersebut dapat mencakup data survei untuk puluhan ribu titik lama dan yang baru disurvei dari seluruh benua, atau bahkan dunia. Karena kerumitannya, penghitungan datum seluruh benua atau global ini pernah jarang dilakukan. Komputer telah meningkat sedemikian rupa sehingga penyesuaian datum sekarang terjadi setiap beberapa tahun.

Penyesuaian datum biasanya menghasilkan perubahan koordinat untuk semua titik datum yang ada, karena lokasi koordinat diperkirakan untuk titik datum lama dan baru. Titik datum tidak bergerak, tetapi perkiraan terbaik kami untuk koordinat titik datum akan berubah. Perbedaan antar datum mencerminkan perbedaan titik kontrol, metode survei, model matematis, dan asumsi yang digunakan dalam penyesuaian datum.

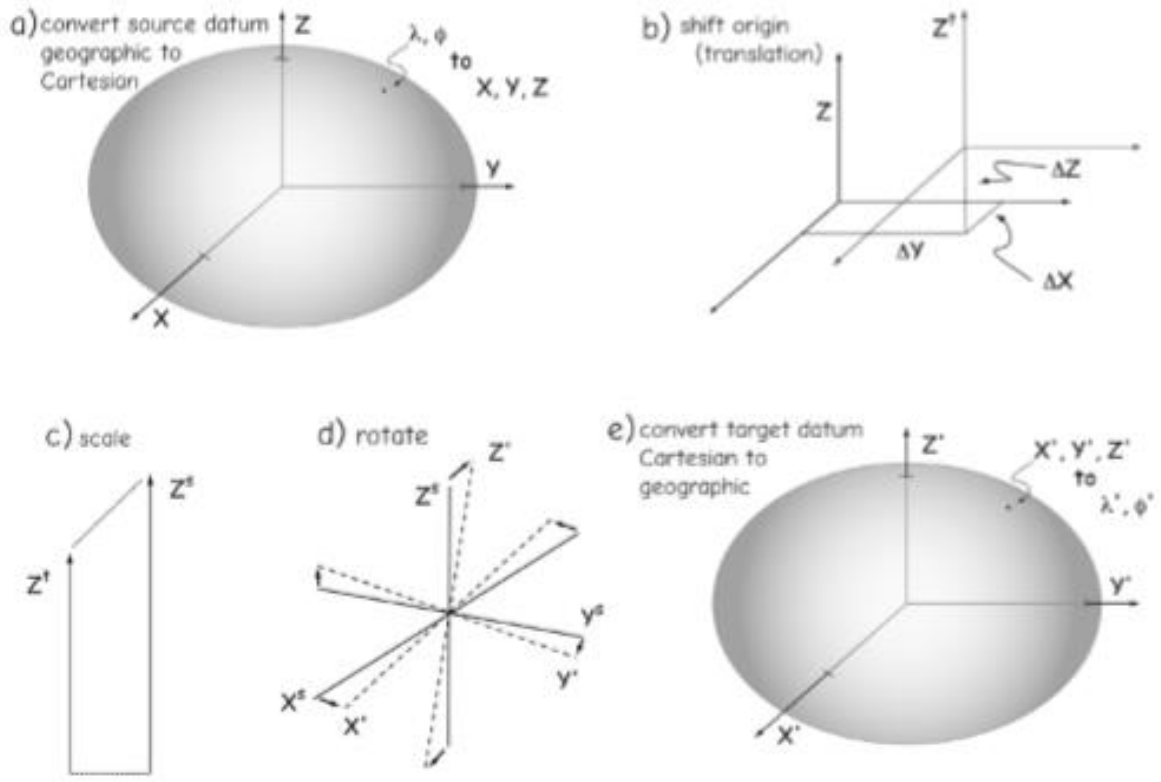


Gambar 3.15 Elipsoid berubah seiring berjalannya waktu

Gambar diatas mengilustrasikan bagaimana ellipsoid dapat berubah seiring waktu, bahkan untuk wilayah survei yang sama. Ellipsoid A diperkirakan dengan koordinat datum untuk pt1 dan pt2, dengan sumbu koordinat, asal, dan orientasi yang sesuai yang ditunjukkan. Ellipsoid B kemudian fit, setelah poin 3 sampai 7 dikumpulkan. Elipsoid yang lebih baru ini memiliki asal dan orientasi yang berbeda untuk porosnya, menyebabkan koordinat pt1 dan pt2 berubah. Titik-titik tersebut belum berpindah, tetapi perkiraan terbaik dari lokasinya akan berubah, relatif terhadap titik awal yang ditetapkan oleh titik-titik datum yang baru dan lebih lengkap. Anda dapat memvisualisasikan bagaimana sudut lintang dari titik awal ke pt1 akan berubah karena asal untuk ellipsoid A berada di lokasi yang berbeda dari asal untuk ellipsoid B. Gerakan yang terlihat, tetapi tidak nyata ini disebut pergeseran datum, dan diharapkan dengan penyesuaian datum.

3.3.2 Transformasi Datum

Mengonversi koordinat geografis dari satu datum ke datum lain biasanya memerlukan transformasi datum. Transformasi datum memberikan garis lintang dan bujur dari suatu titik dalam satu datum ketika kita mengetahuinya di datum lain; sebagai contoh, kita dapat menghitung lintang dan bujur dari sebuah benchmark di NAD83 (2011) ketika kita mengetahui koordinat geografis ini di NAD83 (1986).



Gambar 3.16 : Penerapan transformasi datum modern. Koordinat geografis (bujur, λ, dan lintang, φ, ditransformasikan ke datum baru dengan a) konversi dari koordinat geografis ke Cartesian di datum lama (melalui serangkaian rumus yang tidak ditampilkan), b) menerapkan pergeseran asal , c) penskalaan dan d) memutar koordinat yang digeser ini, dan e) mengonversi koordinat Kartesius datum target ini, X ', Y', Z ', menjadi bujur dan lintang, λ ', φ ', dalam datum target.

Transformasi datum seringkali lebih rumit ketika melibatkan datum yang lebih lama. Banyak datum lama dibuat sedikit demi sedikit untuk mengoptimalkan kesesuaian untuk suatu negara atau benua. Jumlah pergeseran antara satu datum dan lainnya sering kali bervariasi di seluruh dunia karena kesalahan dalam pengukuran dapat didistribusikan secara khusus. Pengukuran di satu area atau periode mungkin sangat akurat, sedangkan di area atau waktu lain mungkin menunjukkan kesalahan yang sangat besar. Menggabungkan mereka dalam penyesuaian datum mempengaruhi perbedaan lokal dan global di antara datum dengan cara unik mereka sendiri. Rumus sederhana seringkali tidak ada untuk transformasi yang melibatkan banyak datum yang lebih tua, misalnya, dari NAD27 ke NAD83. Transformasi datum khusus dapat disediakan, biasanya oleh lembaga pemerintah, menggunakan sejumlah metode berbeda.

Transformasi di antara datum yang lebih baru dapat menggunakan transformasi matematis yang lebih umum antara sistem koordinat Kartesius tiga dimensi (Gambar 3-22). Rumus transformasi memungkinkan konversi di antara sebagian besar sistem NAD83, WGS84, dan ITRF, dan sebagian besar didukung oleh peningkatan pengukuran global dari satelit, seperti yang dijelaskan di beberapa halaman sebelumnya. Pendekatan ini menggabungkan pergeseran asal, rotasi, dan perubahan skala dari satu datum ke datum lainnya.

Transformasi datum geosentris matematis biasanya merupakan proses multistep. Transformasi datum ini didasarkan pada salah satu dari beberapa metode. Di masa lalu, transformasi Molodenski adalah hal biasa, menggunakan sistem rumus dengan tiga atau lima parameter. Saat ini, transformasi Helmert digunakan dengan menggunakan tujuh atau 14 parameter. Pertama, koordinat geografis pada datum sumber dikonvergensi dari koordinat bujur (λ) dan lintang (φ) ke X, Y, dan Z Cartesian. Pergeseran asal (terjemahan), rotasi, dan skala diterapkan. Sistem ini menghasilkan koordinat X ', Y', dan Z 'baru di datum target. Koordinat Kartesius X ', Y', dan Z 'ini kemudian diubah kembali menjadi bujur dan lintang (λ ’dan φ’), dalam datum target.

Metode yang lebih maju memungkinkan ketujuh parameter transformasi ini berubah seiring waktu, untuk memperhitungkan pergeseran tektonik dan lainnya, dengan total 14 parameter. Metode ini digabungkan ke dalam perangkat lunak yang menghitung transformasi di antara datum modern.

Karena pergerakan lempeng tektonik, pengukuran geodetik yang paling tepat mengacu pada epoch, atau periode waktu tetap, di mana titik tersebut diukur. Perangkat lunak HTDP menyertakan opsi untuk menghitung pergeseran di suatu lokasi karena datum referensi yang berbeda [misalnya, NAD83 (CORS96) ke WGS84 (G1150)], pergeseran karena realisasi data yang berbeda [misalnya, NAD83 (CORS96) ke NAD83 (2011)], pergeseran karena pengukuran dalam epoch yang berbeda [misalnya, NAD83 (CORS96) epoch 1997.0 ke NAD83 (CORS96) epoch 2010.0], dan perbedaan karena ketiga faktor tersebut. Karena sebagian besar titik bergerak dengan kecepatan kurang dari 0,1 mm per tahun dalam kerangka acuan NAD83, perbedaan waktu sering diabaikan untuk semua kecuali survei geodetik.

Pergeseran datum yang terkait dengan transformasi datum telah berubah dengan setiap realisasi datum berturut-turut. Beberapa pasangan datum dianggap setara untuk banyak tujuan saat menggabungkan data dari layer data yang berbeda, atau saat menerapkan transformasi datum. WGS84 (G730) disejajarkan dengan datum ITRF92, jadi ini dapat diganti dalam transformasi datum yang membutuhkan tidak lebih baik dari akurasi sentimeter.

Demikian pula, datum WGS84 (G1150) dan ITRF00 telah disejajarkan, dan dapat diganti di sebagian besar transformasi.

Sementara perbedaan antara datum NAD83 (CORSXX) dan ITRF / WGS84 biasanya lebih dari satu meter, pergeseran datum internal ke pengelompokan ini telah menjadi kecil untuk datum terbaru. Perbedaan antara datum NAD83 (HARN) dan NAD83 (CORSxx) mungkin mencapai 20 cm, tetapi biasanya kurang dari 4 cm, jadi realisasi datum ini dapat dianggap setara jika batas akurasi di atas 20 cm, dan mungkin serendah 4 cm . Perbedaan antara NAD83 (CORS96) dan NAD83 (2011) sering kali berada pada urutan beberapa sentimeter, begitu pula perbedaan antara realisasi ITRF, misalnya 91, 94, 00, 05, dan 08.

Akan ada realisasi datum baru, masing-masing membutuhkan transformasi tambahan di masa depan. Datum ITRF dirilis setiap beberapa tahun, membutuhkan transformasi baru ke datum yang ada setiap saat. Pada tulisan ini, NGS telah merilis NAD83 (2011) koordinat penyesuaian nasional stasiun patokan pasif dan pengamatan multi tahun di stasiun GNSS / GPS CORS.

Sebelum dekade ini, perbedaan transformasi datum biasanya lebih rendah daripada kesalahan data spasial, sehingga hanya menimbulkan sedikit masalah. Penerima GNSS sekarang dapat memberikan akurasi tingkat sentimeter di lapangan, jadi apa yang dulunya dianggap sebagai perbedaan data kecil sekarang terlihat. Metode transformasi datum dalam sistem perangkat keras atau perangkat lunak harus didokumentasikan dan keakuratan metode yang diketahui sebelum diadopsi. Sayangnya, banyak data yang sekarang terdegradasi karena transformasi datum yang tidak tepat.

Ada sejumlah faktor yang harus kita ingat saat menerapkan transformasi datum. Pertama, mengubah datum mengubah perkiraan terbaik kami untuk lokasi koordinat dari sebagian besar titik. Perbedaan ini mungkin kecil dan diabaikan dengan sedikit penalti dalam beberapa kasus tertentu, biasanya bila perubahannya lebih kecil daripada akurasi spasial yang diperlukan untuk analisis kami. Namun, banyak pergeseran datum yang cukup besar, hingga puluhan meter. Seseorang harus mengetahui besarnya pergeseran datum untuk area dan transformasi datum yang diminati.

Kedua, transformasi datum adalah perkiraan hubungan yang dikembangkan dengan kumpulan data tertentu dan untuk area dan waktu tertentu. Ada kesalahan spasial dalam transformasi yang khusus untuk versi input dan datum. Tidak ada transformasi umum antara NAD83 dan WGS84. Sebaliknya, ada transformasi antara versi tertentu masing-masing, misalnya, dari NAD83 (96) ke WGS84 (1150).

Akhirnya, proyek GIS tidak boleh mencampur datum kecuali dalam keadaan ketika pergeseran datum relatif kecil untuk persyaratan analisis. Kecuali jika terbukti sebaliknya, semua data harus dikonversi ke sistem koordinat yang sama, berdasarkan datum yang sama. Jika tidak, data mungkin tidak sejajar.

3.3.3 Ketinggian dan Data Vertikal

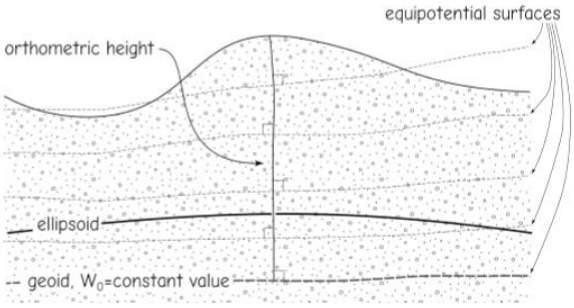
Dalam definisi yang paling sederhana, datum vertikal adalah referensi yang kami gunakan untuk mengukur ketinggian. Sebuah datum vertikal ditemukan dengan mengukur gravitasi dan mengidentifikasi variasi dalam permukaan "gravitasi konstan" (ekuipotensial), dan kemudian menggabungkannya dengan mengukur ketinggian kontrol secara hati-hati di atas permukaan ekuipotensial tertentu. Seperti disebutkan di bagian geoid, sebagian besar

pemerintah atau organisasi lain menggunakan geoid tertentu sebagai permukaan referensi untuk ketinggian, meskipun tidak semua orang mengadopsi geoid yang sama. Pemerintah mengadopsi geoid "hibrida", yang menggabungkan survei vertikal tepat mereka sendiri dengan model dan pengukuran gravitasi. Karena kata elevasi digunakan untuk banyak hal lainnya, kami menyebut elevasi ini sebagai tinggi ortometrik, untuk memperjelas bahwa yang kami maksud adalah ketinggian standar di atas geoid referensi kami. Ketinggian ortometrik adalah apa yang kebanyakan orang maksudkan ketika mereka mengatakan bahwa ketinggian diukur di atas rata-rata “permukaan laut rata-rata” generik atau global. Ini biasanya penggunaan yang salah, karena, seperti yang akan kami jelaskan nanti, ketinggian vertikal modern tidak dirujuk ke rata-rata permukaan laut global.

Untuk sebagian besar sejarah sebelum satelit, survei leveling digunakan untuk menetapkan ketinggian. Sebuah patokan standar tepi laut dipilih, dan jarak serta perbedaan ketinggian diukur secara tepat dari sana ke titik-titik yang diketahui. Survei leveling memberikan ketinggian poin di sepanjang jalurnya. Tolok ukur yang ditetapkan pada titik-titik ini kemudian digunakan untuk menetapkan ketinggian terdekat. Survei leveling awal dilakukan dengan instrumen sederhana, misalnya dengan spirit leveling, menggunakan plumb bobs dan bubble atau tube level. Batang horizontal ditempatkan di antara tiang vertikal berikutnya untuk mengukur ketinggian secara fisik.

Jumlah, akurasi, dan tingkat survei leveling meningkat secara substansial pada abad ke-18 dan ke-19. Survei epik yang berlangsung selama beberapa dekade ditugaskan, seperti Great Arc dari India selatan ke Himalaya. Survei ini dilakukan dengan modal besar dan biaya manusia; di satu bagian Arc Besar lebih dari 60% kru lapangan meninggal selama periode enam tahun karena sakit dan kecelakaan.

Sebagian besar survei leveling dari akhir 1700-an hingga pertengahan abad ke-20 menggunakan leveling trigonometri. Metode ini menggunakan instrumen optik dan trigonometri untuk mengukur perubahan ketinggian. Jarak permukaan sepanjang lereng diukur untuk menghindari proses yang membosankan dalam membangun tiang vertikal dan batang pengatur ketinggian. Sudut vertikal juga diukur dari stasiun yang diketahui, biasanya dengan teleskop kecil yang dilengkapi dengan pengukur sudut yang ditulis dengan tepat. Jarak permukaan kemudian akan digabungkan dengan sudut vertikal yang diukur untuk menghitung jarak horizontal dan vertikal. Survei awal mengukur jarak permukaan di sepanjang lereng dengan tali, rantai logam, dan pita baja. Pengukuran ketinggian modern telah banyak menggantikan pengukuran trigonometri, dan terutama menggunakan berbagai metode berbasis laser dan satelit.



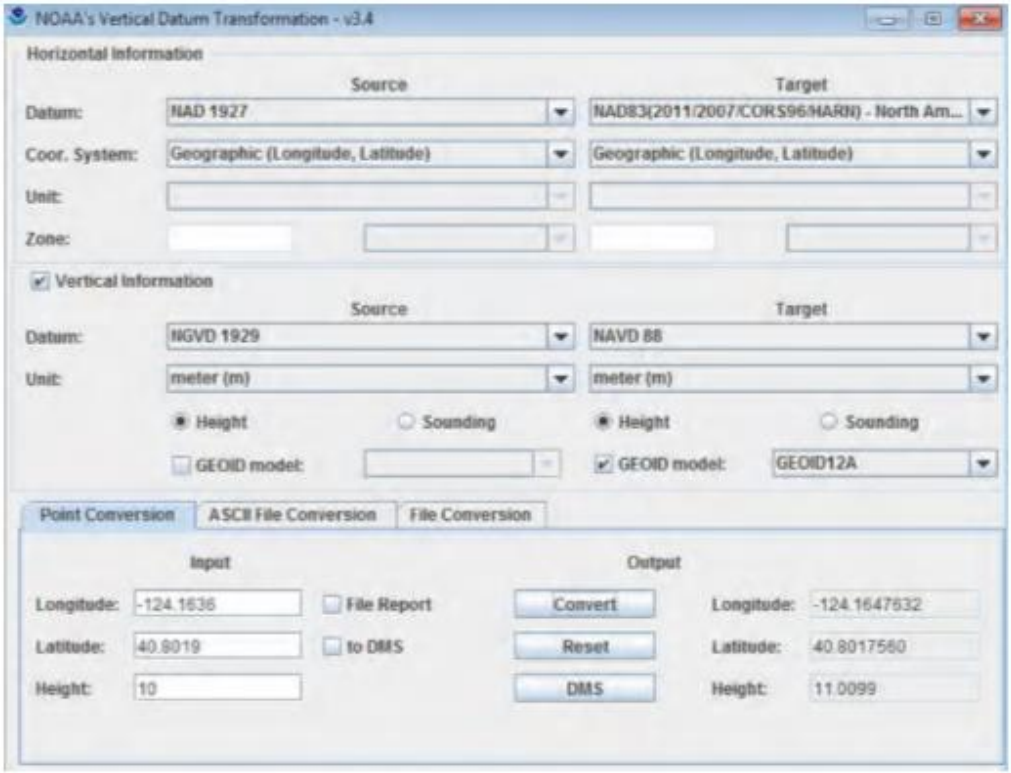
Gambar 3.17 : Ketinggian direferensikan ke geoid, sesuai dengan permukaan ekuipotensial tertentu. Semua titik pada permukaan ekuipotensial memiliki tarikan gravitasi yang sama, dan

dapat dibayangkan sebagai layer, seperti bawang, dengan kekuatan yang semakin berkurang jika semakin jauh dari pusat massa bumi. Ketinggian biasanya ditentukan sebagai ortometrik, artinya pada sudut siku-siku untuk semua permukaan ekipotensial di sepanjang jalurnya. Karena permukaan potensial dapat bergelombang, tinggi ortometrik dapat berupa garis lengkung, meskipun biasanya hanya sedikit.

Kami tidak dapat mengatasi variasi ini hingga beberapa dekade terakhir, setelah itu metode ditingkatkan ke tempat perbedaan permukaan laut di seluruh dunia menjadi jelas, bahkan dengan peralatan yang relatif murah.

3.3.4 Vdatum

Mengingat bahwa datum vertikal dan geoid terkait berubah seiring waktu, United States National Geodetic Survey (NGS) telah membuat alat, VDatum, untuk memperkirakan konversi di antara datum vertikal di A.S.. VDatum menghitung perbedaan vertikal dari satu datum ke datum lainnya pada lokasi dan ketinggian koordinat horizontal tertentu. Konversi disediakan antara datum 1929 dan modern, antara datum WGS84 / ITRF dan NAVD, dan antara berbagai versi ellipsoid dalam datum NAVD88. Karena pergeseran datum vertikal akan bervariasi sebagai fungsi posisi, garis lintang dan bujur harus disediakan, dan karena pergeseran mungkin juga bergantung pada ketinggian, ketinggian vertikal dimasukkan. Pergeseran bisa sangat besar, terutama saat mengkonversi antara NAVD dan WGS84 / ITRF, dan juga dari datum NVD1929 ke NAVD88. Pergeseran datum vertikal biasanya berubah perlahan dengan jarak, jadi satu offset mungkin cocok untuk semua pergeseran ketinggian dalam beberapa hingga puluhan kilometer persegi. Jumlah kesalahan dan jarak "aman" untuk rentang bervariasi menurut wilayah, sehingga besaran transformasi harus diverifikasi di beberapa titik di setiap wilayah studi baru untuk melihat seberapa luas offset dapat digunakan.



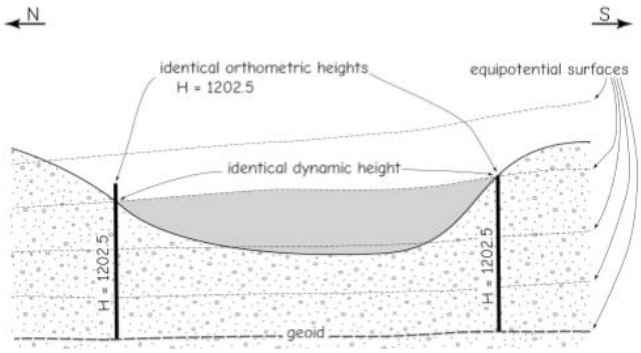
Gambar 3.18 : Contoh penerapan software transformasi datum vertikal VDatum.

VDatum juga dapat digunakan untuk memperkirakan pergeseran ketinggian di antara versi geoid. Permukaan geoid baru telah diperkirakan kira-kira setiap tiga tahun sejak 1996 dan ketinggian pada titik tertentu akan berubah di antara geoid. Jika ketinggian yang relatif terhadap geoid yang berbeda akan digabungkan, satu kumpulan ketinggian harus disesuaikan agar cocok dengan geoid yang lain. Ini biasanya dicapai dengan menambahkan offset yang dihitung dari model yang disertakan dalam VDatum.

Sebagai contoh, saya mungkin memiliki dua kumpulan data ketinggian, keduanya di Eureka, California, dekat titik dengan garis lintang 40.8019, garis bujur -124.1636, dan ketinggian sekitar 10 meter. Satu ketinggian diukur relatif terhadap versi geoid96 dari NAVD88, dan yang lainnya menggunakan versi geoid12A. Saya dapat menggunakan VDatum untuk menghitung pergeseran ketinggian vertikal karena perbedaan geoid; pada koordinat dan ketinggian itu diperkirakan 31 cm, atau kira-kira 1 kaki, peningkatan tinggi antara dua geoid ini. Ini berarti saya harus menambahkan 31 cm ke semua 96 tinggi saya sebelum menggabungkannya dengan tinggi 12A.

3.3.5 Ketinggian Dinamis

Kita harus membahas satu jenis ketinggian terakhir, yang disebut tinggi dinamis, karena penting untuk aplikasi tertentu. Ketinggian dinamis mengukur perubahan tarikan gravitasi dari permukaan ekuipotensial tertentu. Ketinggian dinamis penting jika tertarik pada ketinggian air dan aliran melintasi ketinggian. Titik yang memiliki ketinggian dinamis yang sama dapat dianggap berada pada permukaan air yang sama. Mungkin agak mengherankan, titik dengan ketinggian dinamis yang sama sering kali memiliki tinggi ortometrik yang berbeda. Agar jelas, dua titik berbeda di tepi air di sebuah danau besar seringkali tidak memiliki ketinggian yang sama; seringkali, ketinggian ortometrik berbeda di atas geoid referensi kami. Karena ketinggian ortometrik adalah standar kami untuk menentukan ketinggian, ini berarti air memang mengalir ke atas bukit, atau yang membingungkan, danau mungkin memiliki ketinggian yang berbeda di satu sisi dengan di sisi yang berlawanan. Untuk memahami mengapa air dapat mengalir ke atas bukit (dari ketinggian ortometrik yang lebih rendah ke yang lebih tinggi), penting untuk mengingat bagaimana ketinggian ortometrik didefinisikan. Ketinggian ortometrik adalah jarak, dalam arah tarikan gravitasi, dari geoid ke suatu titik. Tapi ingat, geoid adalah nilai gravitasi tertentu, permukaan "ekuipotensial", di mana tarikan gravitasi berada pada tingkat tertentu. Saat kita bergerak naik dari geoid menuju permukaan, kita melewati permukaan ekuipotensial lainnya, masing-masing dengan gaya tarik atau gaya gravitasi yang sedikit lebih lemah, sampai kita tiba di titik permukaan. Tapi permukaan gravitasi ini tidak selalu paralel, dan mungkin lebih rapat di satu bagian dunia daripada yang lain.



Gambar 3.19: Ilustrasi tentang bagaimana ketinggian dinamis dan tinggi ortometrik dapat berbeda, dan bagaimana ketinggian ortometrik yang sama dapat sesuai dengan ketinggian yang berbeda di atas permukaan air di sebuah danau besar. Karena permukaan ekuipotensial bertemu, permukaan air di ujung utara dan selatan danau akan memiliki ketinggian ortometrik yang berbeda. Ketinggian dinamis dan ketinggian air sama di seluruh permukaan ekuipotensial.

Ada dua poin penting. Pertama, air menyebar ke permukaan yang ekuipotensial, tidak adanya angin, gelombang, dan faktor lainnya. Ketinggian air di bak mandi, kolam, atau danau yang diam berada pada permukaan ekuipotensial yang sama di satu ujung dengan ujung lainnya. Gravitasi memastikan hal ini. Kedua, permukaan ekipotensial semakin dekat ketika lebih dekat dengan pusat massa Bumi. Saat permukaan ekuipotensial bertemu, atau menjadi "lebih padat", permukaan air tampaknya turun di bawah ketinggian ortometrik tetap kita.

Karena air mengikuti permukaan ekuipotensial, dan karena radius kutub bumi lebih kecil dari radius ekuator, ketinggian ortometrik permukaan air di danau besar biasanya berbeda di ujung utara dan selatan. Misalnya, saat Anda bergerak lebih jauh ke utara di belahan bumi utara, permukaan ekuipotensial bertemu karena jarak yang semakin berkurang dari pusat massa bumi, dengan meningkatnya tarikan gravitasi. Tinggi ortometrik adalah ketinggian tetap di atas permukaan geoid, sehingga tinggi ortometrik utara akan melewati lebih banyak permukaan ekuipotensial daripada ketinggian ortometrik yang sama di lokasi yang lebih selatan. Air mengikuti permukaan ekipotensial, sehingga ketinggian ortometrik dari permukaan air di ujung selatan danau akan lebih tinggi daripada di ujung utara. Misalnya, di Danau dengan ketinggian ortometrik yang sesuai dengan permukaan air di ujung selatan Danau Michigan kira-kira 15 cm lebih tinggi, diukur sebagai ketinggian ortometrik, daripada permukaan air di ujung utara.

Ketinggian dinamis paling sering digunakan ketika kita tertarik pada ketinggian relatif untuk ketinggian air, terutama di atas danau besar atau badan air yang terhubung. Karena ketinggian dinamis yang sama berada pada permukaan air yang sama, kita dapat menggunakannya jika tertarik untuk secara akurat menggambarkan penurunan hidrologi, head, tekanan, dan variabel lain yang terkait dengan ketinggian air melintasi jarak. Tetapi perbedaan ini bisa membingungkan saat mengamati patokan atau ketinggian permukaan laut, dan menggarisbawahi lagi bahwa referensi ketinggian kami bukan berarti permukaan laut, melainkan perkiraan permukaan geoid.

3.4 Menentukan Letak Suatu Sistem Koordinat

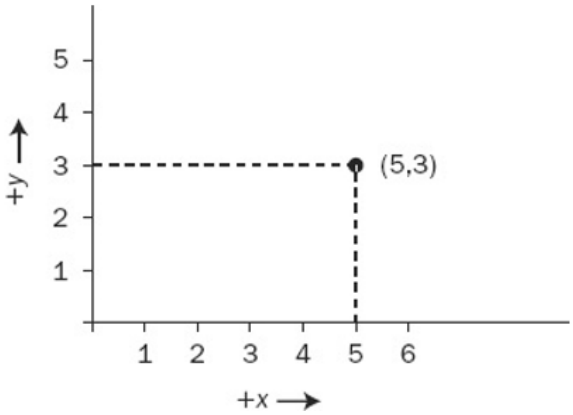
3.4.1 Sistem Koordinat Kartesius

Sistem koordinat adalah suatu jalan untuk menentukan dimana titik berada di suatu ruang. Kita tertarik pada ruang dua dimensi (2-D) dan ruang tiga dimensi (3-D). Secara umum, diperlukan dua angka untuk menentukan posisi ke ruang 2-D dan tiga angka ke ruang 3-D.

Koordinat dapat dianggap memberikan indeks ke lokasi titik di suatu ruang, dan karenanya ke fitur-fitur yang ditentukan oleh titik-titik ini.

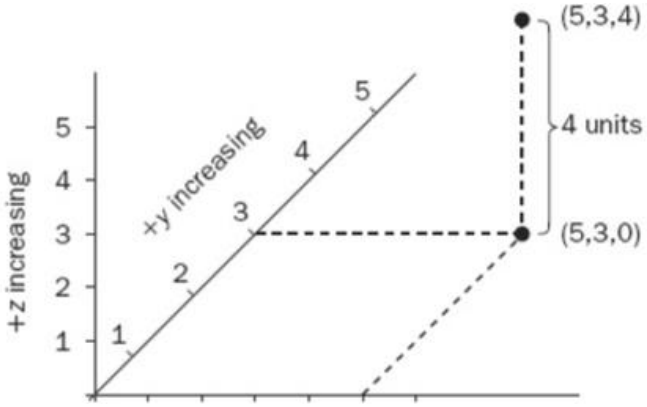
Untuk membuat sistem 5 koordinat Kartesius 2-D, gambarlah dua sumbu (garis) yang bersilangan di sudut kanan di selembar kertas. Titik tempat bersilangan disebut “asal”. Lembaran kertas tersebut adalah bidang x-y. Atur halaman pada tabel horizontal di depan Anda sehingga satu garis menunjuk ke kiri-kanan dan yang lainnya ke arah Anda dan menjauhi

Anda. Bagian garis dari titik awal ke kanan Anda disebut sumbu x positif. Garis dari titik awal yang menjauhi Anda disebut sumbu y positif. Tandai setiap sumbu dalam satuan linier yang sama (misalnya sentimeter) dimulai dari titik awal, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Sekarang, sepasang angka berfungsi sebagai referensi ke titik manapun pada bidang. Posisi x = 5 dan y = 3 disingkat: (5,3).



Gambar 3.20 Sistem koordinat Kartesius 2-D

Anda dapat membuat sistem koordinat Kartesius 3-D dari versi 2-D: Bayangkan sebuah garis vertikal melewati titik awal; sebut saja sumbu z; yang positif arah atas. Sekarang Anda dapat mereferensikan titik mana pun dalam ruang tiga dimensi. Titik x = 5, y = 3, dan z = 4 [ditulis lebih ringkas seperti (5, 3, 4)] ditunjukkan pada Gambar 1-6.

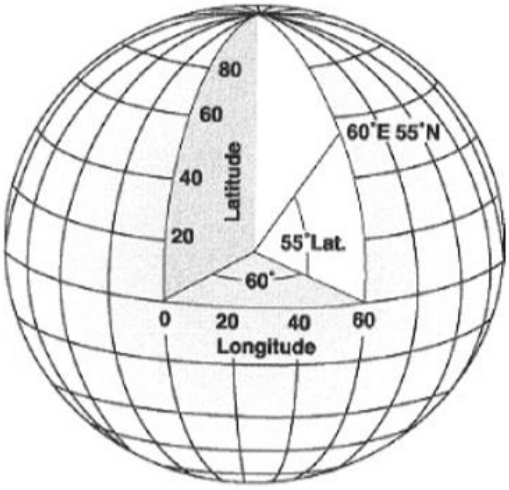


Gambar 3.21 Sistem koordinat Kartesius 3-D

Ini disebut sistem koordinat tangan kanan. Ibu jari, telunjuk, dan jari tengah mewakili sumbu positif x, y, dan z. Dengan tangan kanan terentang, susun ketiga digit tersebut sehingga kira-kira saling ortogonal — yaitu, dengan sudut 90 ° di antara setiap pasangan. Arahkan ibu jari ke kanan dan telunjuk menjauh dari Anda. Sekarang jari tengah Anda akan mengarah ke atas.

3.4.2 Sistem Koordinat Bola

Sistem koordinat bola adalah cara lain untuk mereferensikan suatu titik dalam ruang 3-D. Ini juga membutuhkan tiga angka. Dua adalah sudut, dan yang ketiga adalah jarak. Pertimbangkan sinar (garis) yang berasal dari asalnya. Sudut menentukan arah sinar. Lihat gambar.



Gambar 3.22 Sistem koordinat bola menunjukkan garis 55° Lintang Utara dan 60° Bujur Timur.

Garis lintang-bujur (jarring-jaring garis yang melingkupi globe) didasarkan pada sistem koordinat bola. Seperti yang sering terjadi, bidang usaha yang berbeda menggunakan pendekatan deskriptif yang berbeda. Di sini, merujuk masalah navigasi dan lokasi Bumi memerlukan sistem yang berbeda dari yang digunakan ahli matematika dalam sistem yang lebih abstrak. Asalnya dianggap sebagai pusat Bumi. Garis khatulistiwa berfungsi sebagai persimpangan bidang x-y dan bola hipotetis bumi. Untuk menentukan koordinat suatu titik, satu sudut (garis lintang) diukur dari bidang x-y. Sudut lainnya (bujur) terdapat pada bidang x-y dan diukur dari garis meridian yang melewati Greenwich, Inggris. Angka ketiga dalam sistem koordinat bola matematis adalah jarak sepanjang sinar dari titik asal ke titik tujuan. Ketika ditambahkan ke sistem garis lintang-bujur, ketinggian biasanya didefinisikan sebagai jarak ke titik sepanjang sinar dari rata-rata (rata-rata) permukaan laut (MSL) atau dari pseudo-ellipsoid yang ditentukan gravitasi menggunakan Sistem Pemosisian Global NAVSTAR yang akan dibahas setelah ini.

Dengan menggunakan tiga angka, Anda dapat menentukan dan menghubungkan posisi titik mana pun di Bumi. Tentu saja, sekumpulan parameter yang ditentukan secara eksternal harus memenuhi syarat angka-angka ini. Setiap titik tertentu di permukaan mungkin sudah ditunjukkan oleh kumpulan angka yang berbeda, berdasarkan parameter (misalnya, unit) dari sistem koordinat yang dipilih. Parameter ini harus cocok ketika Anda menggabungkan data GIS.

3.4.3 Menentukan Dimana Letak Sesuatu: Lintang dan Bujur

Prinsip fundamental yang mendasari semua ilmu geografi dan GIS: Kebanyakan benda di bumi tidak bergerak (atau bergerak sangat lambat) relatif terhadap satu sama lain. Oleh karena itu, kita dapat berbicara tentang posisi sesuatu yang tertanam atau melekat pada tanah dan mengetahui bahwa posisinya tidak akan berubah banyak. Sepertinya hal ini sudah jelas, tetapi posisi dapat membingungkan banyak orang ketika digambarkan sebagai sekumpulan angka.

Misalkan pada tahun 1955 di suatu tempat di Indonesia, Anda (atau orang tua Anda, atau orang tua mereka) menancapkan tiang atau pin logam yang besar secara vertikal ke tanah yang kokoh. Sekarang pertimbangkan bahwa objek tersebut, kecuali diganggu oleh manusia atau kekuatan alam seperti erosi atau gempa bumi, tidak akan berpindah relatif terhadap

bumi sejak saat itu. Dengan kata lain, itu adalah tempatnya, dan akan tetap di sana. Tiga angka — lintang, bujur, dan ketinggian — dapat mengidentifikasi lokasi objek pada tahun 1955 itu. Namun, selama setengah abad terakhir, tim matematikawan dan ilmuwan (ahli dalam geodesi) mengembangkan kumpulan angka lain untuk mendeskripsikan tempat yang sama persis dengan tempat objek Anda sekarang. Posisi sebenarnya dari objek tidak berubah, tetapi deskripsi tambahan tentang tempat objek dikembangkan.

Abaikan soal ketinggian untuk saat ini, anggaplah benda itu terdorong ke tanah pada 38.0000000° (Lintang Utara) dan 84.5000000 ° (Bujur Barat), menurut perhitungan yang dilakukan sebelum tahun 1955 yang menunjukkan lokasi pusat bumi, bentuknya, dan lokasinya kutubnya.

Datum yang digambarkan sebagai Sistem Geodetik Dunia 1984 (WGS84) menawarkan pandangan terbaru yang diterima secara luas tentang di mana pusat bumi berada, bentuknya, dan lokasi kutubnya. Elipsoid WGS84 hampir identik dengan elipsoid GRS80.

Berdasarkan graticule lintang-bujur WGS84, objek yang dijelaskan sebelumnya akan berada pada garis lintang 38.00007792° dan garis bujur 84.49993831°. Perbedaannya mungkin tampak tidak signifikan, tetapi jaraknya sekitar 10 meter di permukaan bumi. Atau pertimbangkan seperti ini: Menurut NAD83, objek kedua yang diletakkan di tanah pada 38° LU dan 84.5° BB akan berjarak 10 meter dari yang pertama. Apakah itu terasa jauh? Orang-orang dulu saling tembak-menembak dalam sengketa tanah karena jarak yang lebih kecil dari itu. Diberikan garis lintang dan bujur, GIS harus mengetahui datum yang menjadi dasar angka. Ada ratusan datum, dan banyak negara memiliki datum sendiri.

3.4.4 Geodesi, Sistem Koordinat, Proyeksi Geografis, dan Skala

Pertama, penolakan: Tulisan ini tidak hendak membahas secara rinci masalah seperti datum geodesi, proyeksi, sistem koordinat, dan istilah lain dari bidang geodesi dan survei. Tulisan ini juga tidak akan secara tegas mendefinisikan sebagian besar istilah ini. Sekadar mengetahui definisi tidak berarti banyak tanpa studi lebih lanjut. Banyak buku teks dan halaman web tersedia untuk Anda pelajari. Bidang, konsep, dan prinsip ini mungkin penting atau tidak penting dalam penggunaan GIS Anda, tergantung pada proyek Anda. Namun, datum, proyeksi, penunjukan sistem koordinat, dan unit pengukuran harus identik saat Anda menggabungkan GIS atau informasi map. Jika tidak, proyek GIS Anda dapat memberikan hasil yang tidak akurat.

Bagaimana kita menerapkan garis lintang-bujur yang sempurna secara matematis ke titik-titik di tanah sebagian bergantung pada pemahaman manusia tentang bentuk bumi. Pemahaman ini mengubah semakin banyak yang kita pelajari. Geodesi adalah studi tentang bentuk bumi dan validitas pengukuran yang dilakukan manusia di atasnya. Ini berkaitan dengan masalah seperti spheroid dan datum. Anda tidak perlu tahu banyak tentang geodesi untuk menggunakan GIS secara efektif, asalkan semua data Anda didasarkan pada spheroid dan datum yang sama (serta proyeksi dan unit, seperti yang akan Anda lihat nanti). Ini adalah penerapan pengetahuan geodesik yang menyebabkan perbedaan koordinat objek hipotetis yang saya diskusikan sebelumnya yang terjadi enam atau tujuh dekade yang lalu. Benda itu belum bergerak. Sederhananya, kami memiliki gagasan yang lebih baik tentang lokasi objek relatif terhadap garis lintang-bujur.

3.4.5 Sistem Koordinat yang Diproyeksikan

Karena beberapa alasan, seringkali penggunaan lintang dan bujur kurang tepat untuk mendeskripsikan sekumpulan titik (mungkin dihubungkan dengan garis lurus untuk membentuk garis pantai atau batas negara) di permukaan bumi. Pertama, untuk melakukan penghitungan menggunakan lintang dan bujur — misalnya, menentukan jarak antara dua titik — dapat melibatkan operasi kompleks seperti hasil kali yang melibatkan sinus dan cosinus. Untuk penghitungan jarak yang serupa, jika titik direpresentasikan pada bidang x-y Kartesius, tantangan aritmatika tersulit adalah akar kuadrat.

Pengukuran lintang dan bujur untuk beberapa aplikasi geografis tidak berfungsi dengan baik dalam aspek pembuatan peta. Misalkan Anda memplot banyak titik di permukaan bumi — misalnya, di sepanjang garis pantai sebuah pulau kecil yang jaraknya cukup jauh dari ekuator — pada selembar kertas grafik biasa, menggunakan bilangan bujur untuk koordinat x dan bilangan lintang untuk koordinat y. Bentuk pulau akan terlihat aneh di peta (akan tampak membentang secara horizontal) dibandingkan dengan yang terlihat dari pesawat terbang. Anda tidak akan mendapatkan angka yang berguna jika Anda mengukur jarak atau sudut atau area pada plot. Hal ini disebabkan oleh karakteristik sistem koordinat bola: Panjang busur dari derajat garis bujur tidak sama dengan panjang busur derajat lintang. Panjangnya hampir sama di dekat ekuator, tetapi perbedaannya bertambah saat Anda pergi lebih jauh ke utara atau selatan dari ekuator. Di ekuator, derajat bujur diterjemahkan menjadi sekitar 69,17 mil. Sementara, sangat dekat dengan Kutub Utara, derajat bujurnya mungkin 69,7 inci. (Derajat lintang, sebaliknya, hanya bervariasi antara sekitar 68,71 mil di dekat khatulistiwa dan 69,40 mil di dekat kutub.)

Untuk area yang relatif kecil, secara matematis memproyeksikan bentuk bola ke suatu bidang dapat memberikan solusi yang baik untuk masalah yang terkait dengan perhitungan dan plot. Proyeksi geografis dapat digambarkan seperti membayangkan proses menempatkan sumber cahaya di dalam bola dunia transparan yang memiliki ciri-ciri bumi yang tertulis di atasnya. Cahaya kemudian jatuh di atas selembar kertas (atau kertas yang melengkung hanya dalam satu arah dan dapat dibuka gulungannya menjadi datar). Bayangan fitur (misalnya, garis, atau area) akan muncul di atas kertas. Menerapkan sistem koordinat Kartesius pada kertas memberikan keuntungan dari penghitungan yang mudah dan pembuatan plot yang lebih realistis. Namun, distorsi melekat dalam setiap proses proyeksi; sebagian besar titik di peta tidak akan sama persis dengan titik di lapangan. Tingkat distorsi lebih besar pada peta yang menampilkan lebih banyak area. Akurasi berkurang saat Anda meratakan permukaan lengkung dan dengan demikian mengubah sistem koordinat tiga dimensi menjadi sistem dua dimensi.

Setelah membangun kumpulan data geografis menurut garis lintang dan bujur, berdasarkan beberapa spheroid yang telah disepakati (seperti GRS80) dan datum (seperti WGS84), Anda dapat memutuskan bagaimana merepresentasikannya secara grafis untuk dilihat. Kartografer dapat beralih langsung dari deskripsi garis lintang-garis bujur dari suatu area atau fitur ke penggambaran grafis di atas kertas. Ini biasanya melibatkan "pemroyeksian" data dari sistem koordinat bola tiga dimensi (3-D) ke sistem Kartesius dua dimensi (2-D), dan menetapkan skala: Sejumlah unit tertentu pada peta mewakili angka tersebut unit di lapangan. Penggunakan GIS mengubah ini. Seperti yang saya komentari sebelumnya, garis lintang-bujur adalah cara paling mendasar dan akurat untuk merepresentasikan data spasial. Area yang begitu luas — area yang lebih rentan terhadap distorsi karena diproyeksikan — sebaiknya dibiarkan dalam koordinat lintang-bujur, dan subarea diproyeksikan ke sistem koordinat lain bila diperlukan.

Komputer sangat bagus dalam melakukan komputasi kompleks yang diperlukan untuk memproyeksikan data.

Semakin besar area yang diproyeksikan, semakin besar pula kecenderungan hal-hal yang tidak sesuai tempatnya dinyatakan oleh koordinat yang diproyeksikan.

Empat pertimbangan untuk mengamati dan menganalisis adalah ukuran, bentuk, jarak, dan arah. Banyak proyeksi telah dikembangkan. Banyak yang mengubah ukuran, bentuk, jarak, atau arah, dan ada juga yang mempertahankan satu atau dua di antaranya.

Mengenai satuan linier, GIS berbeda dengan kartografi dalam hal skala dapat dibiarkan sampai akhir. Posisi yang menentukan angka dalam database harus berupa koordinat dunia nyata — bukan koordinat berskala. Artinya, "map" GIS disimpan dalam satuan lapangan bukan satuan map. Selain menjadi cara yang lebih mendasar untuk menyimpan data, ini memungkinkan untuk dengan mudah membuat peta dengan skala yang diinginkan di monitor komputer atau di atas kertas. Skala hanya dipertimbangkan saat Anda mengukur di peta fisik. Komputer bertugas menentukan akurasi skala. Karena daya komputasi komputer yang sangat besar, tidak ada kesulitan dalam konversi skala. Hari-hari seperti: "Coba lihat, jarak ini 5,3 inci di peta, dan 1 inci sama dengan 12 mil, jadi jaraknya sekitar 64 mil" sudah berakhir. Skala adalah konsep kecil di GIS — yang hanya digunakan pada hasil akhir.

3.5 Geografis vs. Proyeksi

3.5.1 Koordinat: Perbandingan

- Keuntungan sistem koordinat bola — Anda dapat merepresentasikan titik mana pun di permukaan bumi seakurat yang sesuai dengan teknik pengukuran Anda. Sistem itu sendiri tidak menimbulkan kesalahan.
- Kekurangan sistem koordinat bola — Anda akan menemui kalkulasi aritmatika yang rumit dan memakan waktu dalam menentukan jarak antara dua titik atau luas yang dikelilingi oleh poligon yang ditentukan oleh sekumpulan titik. Bilangan garis lintang-bujur yang diplot langsung di atas kertas dalam sistem koordinat Kartesius menghasilkan angka yang terdistorsi — terkadang sangat terdistorsi.
- Keuntungan dari sistem koordinat yang diproyeksikan pada bidang Kartesius— Penghitungan jarak antar titik sangatlah mudah. Penghitungan luas relatif mudah. Representasi grafis realistis, asalkan area yang dicakup tidak terlalu luas.
- Kekurangan dari sistem koordinat yang diproyeksikan pada bidang Kartesius— Hampir setiap titik berada di tempat yang salah, meskipun mungkin tidak banyak. Semua proyeksi menimbulkan kesalahan. Bergantung pada proyeksinya, kesalahan ini ada dalam jarak, ukuran, bentuk, atau arah.

Baik Anda menggunakan koordinat geografis atau proyeksi, pastikan bahwa parameter kecocokan data geografis adalah yang terpenting dalam menggabungkan kumpulan data GIS jika Anda menginginkan jawaban yang benar.

3.5.2 Proyeksi Peta Umum dalam GIS

Datum memberi tahu kita garis lintang dan bujur fitur pada ellipsoid. Kita perlu mentransfer ini dari elipsoid melengkung ke peta datar. Proyeksi peta adalah penggambaran lokasi secara sistematis dari permukaan bumi yang melengkung ke permukaan peta yang datar.

Hampir semua proyeksi diterapkan melalui rumus matematika eksak atau berulang yang mengubah antara garis lintang dan garis bujur geografis dan koordinat X dan Y (Timur dan Utara) yang diproyeksikan.

Konversi dari geografi (lon, lat) ke koordinat yang diproyeksikan

Diketahui bujur = λ, lintang = φ (semua sudut dalam radian)

Koordinat proyeksi Mercator adalah:

$$x = R.(\lambda - \lambda 0)$$

$$y = R.In(Tan\,(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2})$$

Dimana R adalah jari-jari bola pada skala peta (misalnya: jari-jari bumi). In adalah fungsi log natural, dan λo adalah asal longtitudinal (Green-wich meridian)

Ekuasi Inversi, dari x,y ke λ,φ

$$\lambda = \frac{x}{R} + \lambda o$$

$$\phi = \left(\frac{\pi}{2}\right) - 2\,.\,tan^{-1}[e^{-\frac{y}{R}}]$$

Rumus diatas menunjukkan salah satu rumus proyeksi yang lebih sederhana, antara Mercator dan koordinat geografis, dengan asumsi Bumi bulat. Rumus ini akan diterapkan untuk setiap titik, simpul, simpul, atau sel grid dalam kumpulan data, mengubah fitur data vektor atau raster dengan fitur dari koordinat geografis ke Mercator.

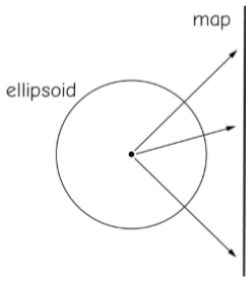
Perhatikan bahwa ada parameter yang harus kita tentukan untuk proyeksi ini, di sini R, radius Bumi, dan λo, asal longitudinal. Nilai yang berbeda untuk parameter ini memberikan nilai yang berbeda untuk koordinatnya, jadi meskipun kami mungkin memiliki jenis proyeksi yang sama (transversal Mercator), kami memiliki versi yang berbeda setiap kali kami menentukan parameter yang berbeda.

Rumus proyeksi juga harus ditentukan dalam arah "mundur", dari koordinat yang diproyeksikan ke koordinat geografis, jika ingin berguna. Koordinat proyeksi dalam arah mundur, atau "terbalik," ini seringkali jauh lebih rumit daripada arah maju, tetapi ditentukan untuk setiap proyeksi yang umum digunakan.

Sebagian besar rumus proyeksi jauh lebih rumit daripada Mercator transversal, sebagian karena sebagian besar mengadopsi Bumi elipsoidal, dan karena proyeksi berada pada permukaan melengkung daripada bidang, tetapi untungnya, rumus proyeksi telah lama distandarisasi, didokumentasikan, dan tersedia secara luas. melalui perpustakaan pemrograman dan kalkulator proyeksi yang terbukti.

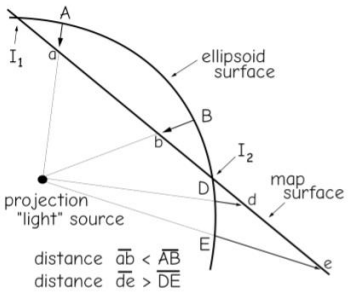
Perhatikan bahwa penggunaan proyeksi mendefinisikan sistem koordinat Kartesius dan karenanya membuat kisi utara, versi ketiga dari arah utara. Kisi utara adalah arah sumbu Y dalam proyeksi peta, dan seringkali sama atau hampir sama dengan arah meridian di dekat pusat area yang diproyeksikan. Kisi utara biasanya berbeda dari utara yang dijelaskan sebelumnya, utara magnet, yang menjadi tujuan kompas, dan utara geografis, kutub di mana bola dunia berputar.

Kebanyakan proyeksi peta dapat dilihat sebagai pengiriman sinar cahaya dari sumber proyeksi melalui ellipsoid dan ke permukaan peta. Dalam beberapa proyeksi, sumbernya bukanlah satu poin; namun, proses dasarnya melibatkan pemindahan titik secara sistematis dari permukaan elipsoidal melengkung ke permukaan peta yang datar.



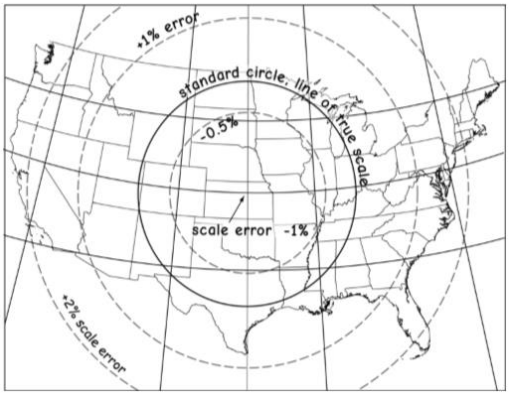
Gambar 3.23: Tampilan konseptual dari proyeksi map

Distorsi tidak dapat dihindari saat membuat peta datar karena transisi dari permukaan bumi yang melengkung secara kompleks ke permukaan peta yang datar atau hanya melengkung. Bagian dari permukaan Bumi yang dirender harus dikompresi atau direntangkan agar sesuai dengan peta, tampak samping proyeksi dari elipsoid ke bidang. Permukaan peta memotong bumi di dua lokasi, I1 dan I2. Titik-titik yang mengarah ke tepi permukaan peta, seperti D dan E, direntangkan secara terpisah. Jarak peta berskala antara d dan e lebih besar dari jarak dari D ke E yang diukur di permukaan bumi. Sederhananya, jarak di sepanjang bidang peta lebih besar dari jarak yang sesuai di sepanjang permukaan lengkung Bumi. Sebaliknya, titik seperti A dan B yang terletak di antara I1 dan I2 akan tampak dikompresi bersama



Gambar 3.24 : Distorsi selama proyeksi Map

Jarak peta berskala dari a ke b akan lebih kecil dari jarak pengukuran permukaan dari A ke B. Distorsi pada I1 dan I2 adalah nol.



Gambar 3.25: Perkiraan kesalahan karena distorsi proyeksi untuk proyeksi stereografik miring tertentu. Sebuah pesawat memotong globe pada lingkaran standar. Lingkaran standar ini mendefinisikan garis skala sebenarnya, di mana tidak ada distorsi jarak. Distorsi meningkat menjauh dari garis ini, dan bervariasi dari -1% menjadi lebih dari 2% dalam contoh ini (diadaptasi dari Snyder, 1987).

Pertama, distorsi dapat mengambil bentuk yang berbeda di bagian peta yang berbeda. Di satu bagian fitur peta dapat dikompresi dan menunjukkan pengurangan area atau jarak relatif terhadap pengukuran permukaan bumi, sementara di bagian lain dari area peta atau jarak dapat diperluas. Kedua, sering ada beberapa titik atau garis di mana distorsi adalah nol dan di mana panjang, arah, atau beberapa properti geometris lainnya dipertahankan. Akhirnya, distorsi biasanya kecil di dekat titik atau garis perpotongan, dan meningkat dengan bertambahnya jarak dari titik atau garis perpotongan.

Proyeksi peta yang berbeda dapat merusak globe dengan cara yang berbeda. Sumber proyeksi, yang diwakili oleh titik di tengah lingkaran, dapat mengubah lokasi. Permukaan tempat kami memproyeksikan dapat berubah bentuk, dan kami dapat menempatkan permukaan proyeksi di lokasi yang berbeda di atau dekat globe. Jika kita mengubah salah satu dari ketiga faktor ini, kita akan mengubah bagaimana atau di mana peta kita terdistorsi. Jenis dan jumlah distorsi proyeksi dapat memandu pemilihan proyeksi yang sesuai atau membatasi area yang diproyeksikan.

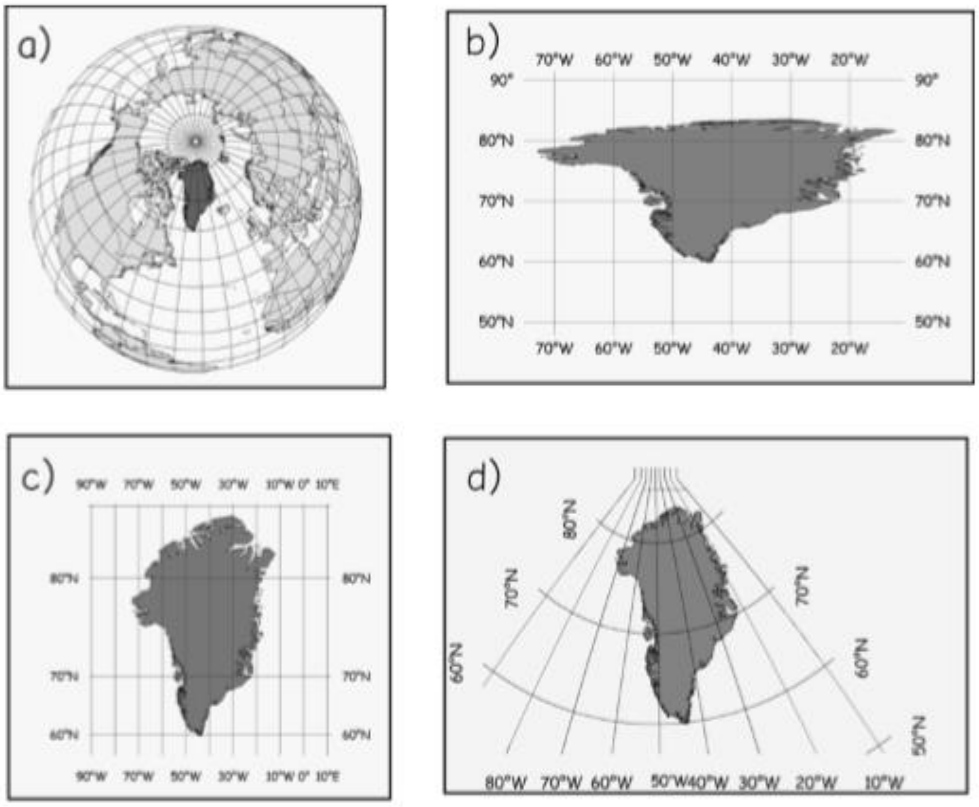
Perkiraan distorsi jarak dapat diperoleh untuk setiap proyeksi dengan membandingkan jarak koordinat bingkai dengan jarak lingkaran besar. Jarak lingkaran besar adalah jarak yang diukur pada spheroid atau ellipsoid dan dalam bidang yang melalui pusat bumi. Permukaan planar ini memotong dua titik di permukaan bumi dan juga membagi spheroid menjadi dua bagian yang sama (Gambar 334). Jarak lingkaran besar terkecil adalah jalur terpendek antara dua titik di permukaan elipsoid, dan dengan perkiraan, Bumi.

Perhatikan bahwa perangkat lunak berbasis web atau perangkat lunak lain dapat menggunakan perkiraan elipsoidal, dan mungkin tidak menentukan jari-jari bumi yang digunakan, jadi yang terbaik adalah menghitung nilai dari rumus asli jika jawaban sangat berbeda.

Garis lurus antara dua titik yang ditunjukkan pada peta yang diproyeksikan biasanya bukanlah garis lurus atau jalur terpendek saat berjalan di permukaan bumi. Sebaliknya, jarak terpendek antar titik di permukaan bumi cenderung muncul sebagai garis lengkung pada peta yang diproyeksikan. Distorsi tidak terlihat untuk peta skala besar dan jarak pendek, tetapi ada untuk sebagian besar garis.

Gambar 3.26 : Representasi kurva dari garis lurus merupakan manifestasi distorsi proyeksi. Jalur lingkar bagus, yang ditunjukkan di atas, adalah rute terpendek saat terbang dari Paris ke Seattle. Jalur tampak melengkung ketika diplot pada pelat ini proyeksi Carree, proyeksi umum yang digunakan dalam peta global, dan pada sebagian besar proyeksi peta umum lainnya.

Gambar diatas mengilustrasikan distorsi garis lurus. Gambar ini menunjukkan jalur jarak terpendek (lingkaran besar) antara Seattle, AS, dan Paris, Prancis. Paris terletak hampir di timur Seattle, tetapi jalur terpendek mengikuti rute utara dari garis timur-barat. Jalur terpendek ini terdistorsi dan tampak melengkung oleh proyeksi Plate Carree yang biasa digunakan untuk peta global. Proyeksi juga dapat mengubah bentuk dan luas poligon secara substansial.

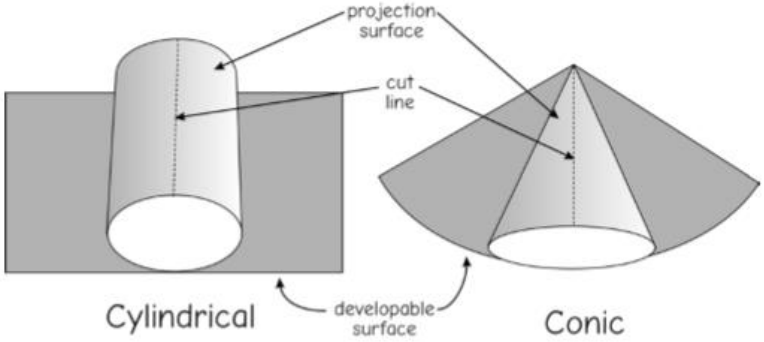


Gambar 3.27 : Proyeksi peta dapat mendistorsi bentuk dan area fitur, seperti yang diilustrasikan dengan berbagai proyeksi Greenland ini, dari a) kira-kira tidak diproyeksikan, b) koordinat geografis pada sebuah bidang, c) proyeksi Mercator, dan d) proyeksi Mercator melintang.

Gambar diatas menunjukkan berbagai proyeksi untuk Greenland, dari tampilan yang kira-kira "tidak diproyeksikan" dari luar angkasa melalui koordinat geografis yang dituangkan pada bidang, hingga proyeksi Mercator dan transversal Mercator. Perhatikan perubahan ukuran dan bentuk poligon yang menggambarkan Greenland.

Sebagian besar proyeksi peta didasarkan pada permukaan yang dapat dikembangkan, suatu bentuk geometris yang menjadi sasaran proyeksi permukaan Bumi. Kerucut, silinder, dan bidang adalah permukaan yang paling umum dikembangkan. Sebuah bidang sudah datar, dan kerucut serta silinder dapat secara matematis “dipotong” dan “dibuka gulungannya” untuk menghasilkan permukaan datar. Proyeksi dapat dikarakterisasi sesuai dengan bentuk

permukaan yang dapat dikembangkan, seperti kerucut (kerucut), silinder (silinder), dan azimut (bidang). Orientasi permukaan yang dapat dikembangkan juga dapat berubah di antara proyeksi; sebagai contoh, sumbu silinder dapat bertepatan dengan kutub (ekuator) atau sumbu dapat melewati ekuator (melintang).

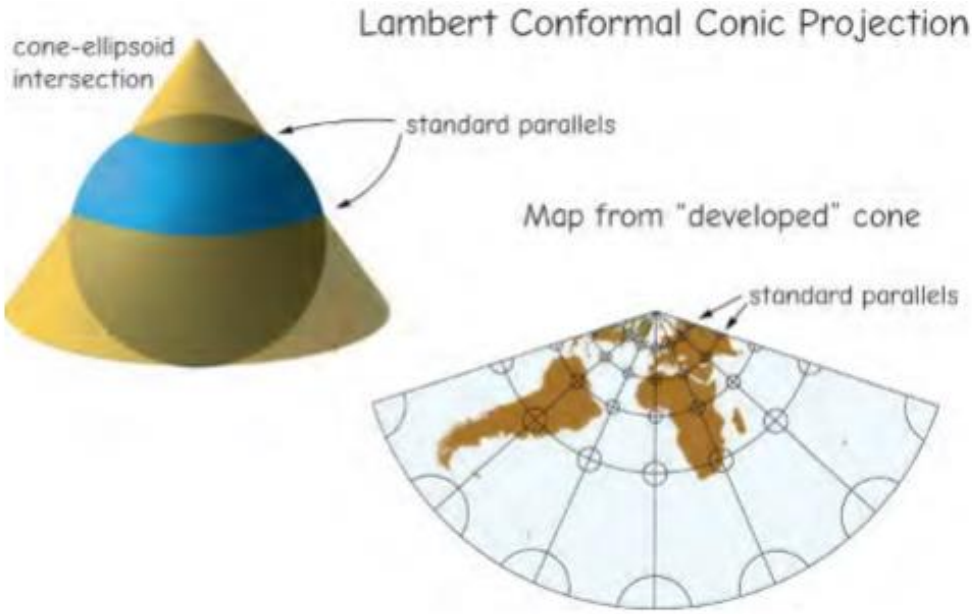


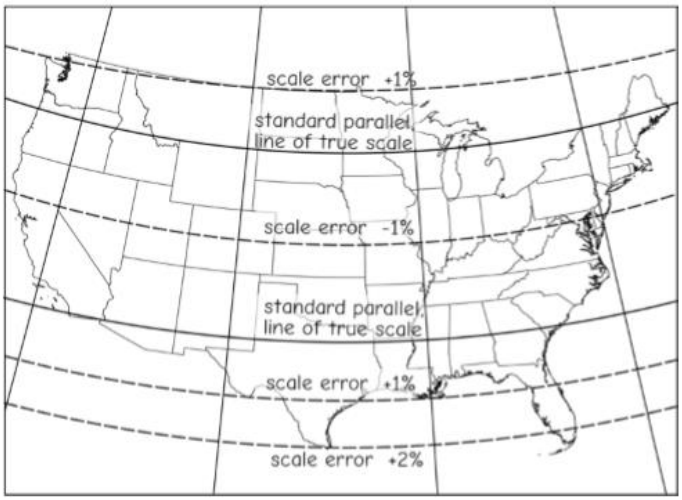
Gambar 3.28 : Permukaan proyeksi berasal dari permukaan lengkung yang "dapat dikembangkan" yang secara matematis dapat "digulung" ke permukaan datar.

Perhatikan bahwa sementara proyeksi peta yang paling umum digunakan untuk data spasial dalam GIS didasarkan pada permukaan yang dapat dikembangkan, banyak proyeksi peta tidak. Proyeksi dengan nama seperti pseudocylindrical, Mollweide, sinusoidal, dan Goode homolosine adalah contohnya. Proyeksi ini sering kali menentukan proyeksi matematis langsung dari elipsoid ke permukaan datar. Mereka menggunakan bentuk matematika yang tidak terkait dengan kerucut, silinder, bidang, atau gambar tiga dimensi lainnya, dan dapat mengubah permukaan proyeksi untuk berbagai belahan dunia, tetapi umumnya hanya digunakan untuk tampilan, dan bukan untuk analisis spasial, karena koordinat sistem tidak sepenuhnya Cartesian.

3.5.3 Proyeksi Peta dan Sistem Koordinat

Ada ratusan proyeksi peta yang digunakan di seluruh dunia; namun sebagian besar data spasial di GIS ditentukan dengan menggunakan jenis proyeksi yang relatif kecil.





Gambar 3.29 : Proyeksi kerucut konformal Lambert (LCC) (atas) dan ilustrasi distorsi skala yang terkait dengan proyeksi. LCC diturunkan dari kerucut yang memotong ellipsoid di sepanjang dua paralel standar (kiri atas). Permukaan peta yang "dikembangkan" secara matematis dibuka gulungannya dari kerucut (kanan atas). Distorsi terutama pada arah utara-selatan, dan diilustrasikan pada permukaan yang dikembangkan oleh deformasi lingkaran geografis berdiameter 5 derajat (atas) dan oleh garis-garis dengan distorsi yang kira-kira sama (bawah). Perhatikan bahwa tidak ada distorsi skala di mana paralel standar memotong globe, pada garis skala sebenarnya (bawah, diadaptasi dari Snyder, 1987).

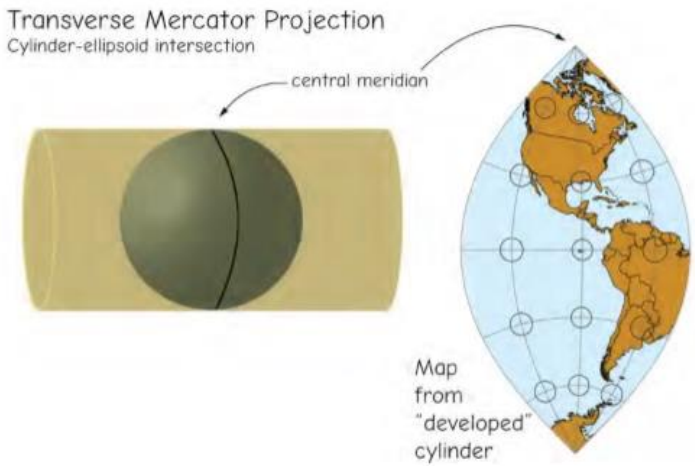
Kerucut konformal Lambert dan Mercator transversal adalah beberapa jenis proyeksi yang paling umum digunakan untuk data spasial di sebagian besar dunia. Rangkaian proyeksi standar telah ditetapkan dari dua tipe dasar ini. Proyeksi kerucut konformal Lambert (LCC) dapat dikonseptualisasikan sebagai kerucut yang memotong permukaan bumi, dengan titik-titik di permukaan bumi diproyeksikan ke kerucut. Kerucut pada kerucut konformal Lambert memotong elipsoid sepanjang dua busur, biasanya sejajar garis lintang, seperti yang ditunjukkan pada gambar (kiri atas). Garis persimpangan ini dikenal sebagai paralel standar.

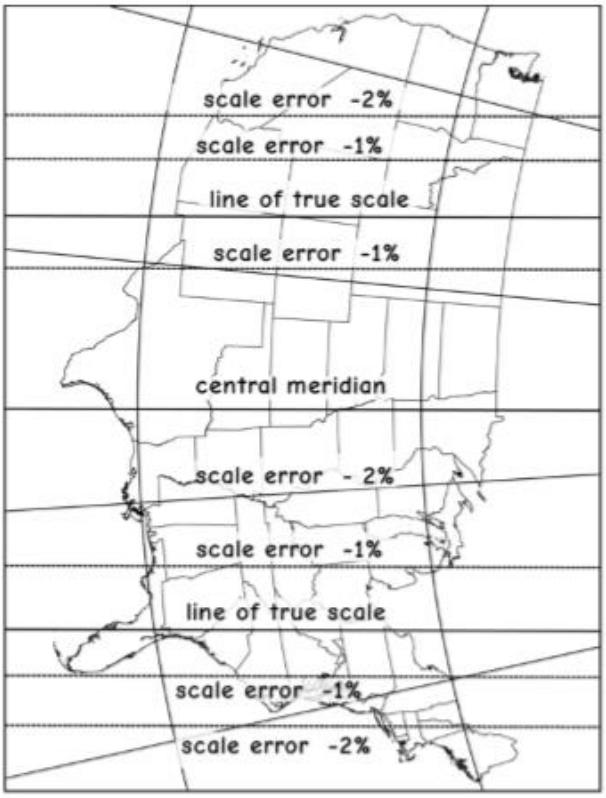
Distorsi dalam proyeksi kerucut konformal Lambert biasanya terkecil di dekat paralel standar, di mana permukaan yang dapat dikembangkan memotong Bumi. Distorsi meningkat secara kompleks seiring bertambahnya jarak dari paralel ini. Karakteristik ini diilustrasikan di kanan atas dan bawah. Lingkaran dengan radius 5 derajat konstan digambar pada permukaan yang diproyeksikan di kanan atas, dan perkiraan garis distorsi konstan dan garis skala nyata ditunjukkan pada Gambar diatas, bawah. Distorsi menurun menuju paralel standar, dan meningkat menjauh dari garis-garis ini.

Perhatikan bahwa kumpulan lingkaran dalam baris timur-barat terdistorsi dalam proyeksi konformal Lambert (Gambar kanan atas). Lingkaran-lingkaran yang berada di antara paralel standar menunjukkan distorsi yang lebih rendah secara seragam daripada yang ada di bagian lain dari peta yang diproyeksikan. Salah satu properti dari proyeksi kerucut konformal Lambert adalah pita distorsi rendah yang berjalan dalam arah timur-barat antara paralel standar. Jadi, proyeksi kerucut konformal Lambert sering digunakan untuk area yang lebih besar di timur-barat daripada arah utara-selatan, karena ada sedikit distorsi tambahan saat memperluas area yang dipetakan ke arah timur-barat.

Distorsi dikendalikan oleh penempatan dan jarak dari paralel standar, garis-garis di mana kerucut memotong globe. Contoh pada Gambar tersebut menunjukkan kesejajaran yang ditempatkan sedemikian rupa sehingga ada distorsi maksimum sekitar 1% di tengah-tengah antara paralel standar. Kami mengurangi distorsi ini dengan mendekatkan paralelnya, tetapi dengan mengorbankan area yang dipetakan pada tingkat distorsi yang lebih rendah ini.

Mercator transversal adalah proyeksi peta umum lainnya. Proyeksi peta ini dapat dikonseptualisasikan sebagai menyelimuti bumi dalam silinder horizontal, dan memproyeksikan permukaan bumi ke dalam silinder. Silinder di Mercator transversal umumnya memotong elipsoid Bumi di sepanjang garis singgung utara-selatan, atau di sepanjang dua garis garis potong, dicatat sebagai garis skala sebenarnya. Garis yang sejajar dan di tengah antara garis potong sering disebut meridian pusat. Meridian tengah memanjang ke utara dan selatan melalui proyeksi Mercator yang melintang.





Gambar 3.30: Proyeksi Transverse Mercator (TM) (atas), dan ilustrasi distorsi skala yang terkait dengan proyeksi (bawah). Proyeksi TM mendistorsi jarak dalam arah timur-barat, tetapi memiliki distorsi yang relatif kecil pada arah utara-selatan. TM ini memotong bola sepanjang dua garis, dan distorsi meningkat dengan jarak dari garis-garis ini (bawah, diadaptasi dari Snyder, 1987).

Seperti halnya kerucut konformal Lambert, proyeksi Mercator melintang memiliki pita dengan distorsi rendah, tetapi pita ini berjalan ke arah utara-selatan. Distorsi paling kecil di dekat garis perpotongan. Grafik di kanan menunjukkan proyeksi Mercator melintang dengan meridian tengah (garis perpotongan) pada bujur 0 derajat, melintasi Afrika bagian barat, Spanyol bagian timur, dan Inggris. Distorsi meningkat tajam dengan jarak ke timur atau barat dari garis persimpangan; misalnya, bentuk Perhatikan bahwa distorsi meningkat dengan bertambahnya jarak dari dua garis persimpangan. Kesalahan distorsi skala dapat dipertahankan di bawah ambang mana pun dengan memastikan area yang dipetakan dekat dengan dua garis garis potong yang memotong globe. Proyeksi Transverse Mercator sering digunakan untuk area yang membentang ke arah utara-selatan, karena ada sedikit distorsi tambahan yang meluas ke arah itu.

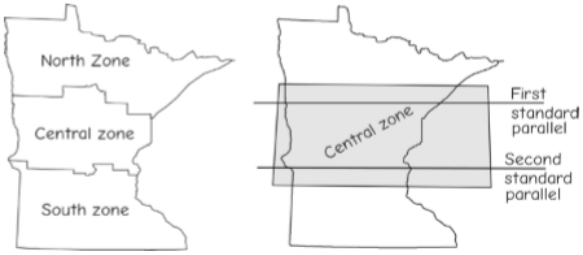
Parameter proyeksi yang berbeda dapat digunakan untuk menentukan sistem koordinat yang sesuai untuk wilayah yang diminati. Paralel standar khusus atau meridian tengah dipilih untuk meminimalkan distorsi pada area pemetaan. Lokasi asal, unit pengukuran, offset x dan y (atau arah utara dan timur), faktor skala, dan parameter lain mungkin juga diperlukan untuk menentukan proyeksi tertentu.

3.5.4 Sistem Koordinat Pesawat Negara

Sistem koordinat Pesawat Negara menentukan posisi dalam sistem koordinat Kartesius untuk setiap negara bagian. Ada satu atau lebih zona di setiap negara bagian, dengan parameter proyeksi yang sedikit berbeda di setiap zona Bidang Keadaan. Zona Multiple State Plane digunakan untuk membatasi kesalahan distorsi karena proyeksi peta.

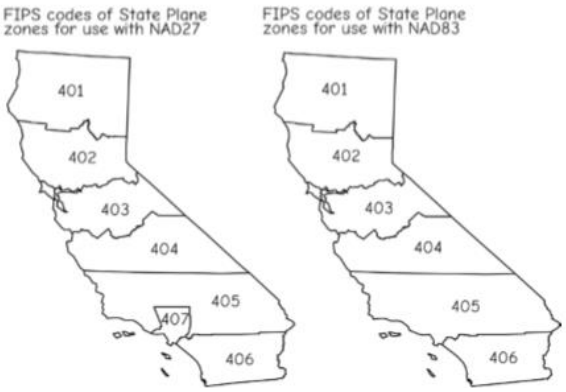
Gambar 3.31 : Batas zona bidang negara bagian, NAD83.

Sistem State Plane memudahkan survei, pemetaan, dan pengembangan data spasial di GIS, terutama jika seluruh wilayah atau wilayah yang lebih luas tercakup. Sistem State Plane menyediakan referensi koordinat umum untuk koordinat horizontal di atas county ke area multicounty sambil membatasi kesalahan distorsi ke nilai maksimum yang ditentukan. Sebagian besar negara bagian telah mengadopsi zona sedemikian rupa sehingga distorsi proyeksi disimpan di bawah satu bagian dalam 10.000. Beberapa negara bagian mengizinkan distorsi yang lebih besar (misalnya, Montana, Nebraska). Sistem koordinat Pesawat Negara digunakan dalam banyak jenis pekerjaan, termasuk survei properti, subdivisi properti, proyek konstruksi skala besar, dan pemetaan fotogrametri, dan zona serta sistem koordinat Pesawat Negara sering diadopsi untuk GIS.



Zona proyeksi One State Plane mungkin cukup untuk negara bagian kecil. Negara bagian yang lebih besar biasanya memerlukan beberapa zona, masing-masing dengan proyeksi yang berbeda, untuk masing-masing dari beberapa zona geografis negara bagian tersebut. Misalnya, Delaware memiliki satu zona koordinat Pesawat Negara, sedangkan California memiliki enam zona, dan Alaska memiliki 10 zona koordinat Pesawat Negara, masing-masing sesuai dengan proyeksi berbeda dalam negara bagian tersebut. Zona ditambahkan ke status untuk memastikan distorsi proyeksi yang dapat diterima dalam semua zona (gambar diatas sebelah kiri). Batas zona ditentukan oleh kabupaten, paroki, atau batas kota lainnya. Misalnya, batas zona selatan / tengah Minnesota membentang kira-kira timur-barat melalui negara bagian di sepanjang batas wilayah yang ditentukan (Gambar 3.32 sebelah kiri).

Sistem koordinat Pesawat Negara didasarkan pada dua jenis proyeksi peta: proyeksi konformal Lambert dan proyeksi Mercator melintang. Karena distorsi dalam Mercator transversal meningkat dengan jarak dari meridian pusat, jenis proyeksi ini paling sering digunakan dengan negara bagian atau zona yang memiliki sumbu panjang utara-selatan (misalnya, Illinois atau New Hampshire). Sebaliknya, proyeksi kerucut konformal Lambert paling sering digunakan ketika sumbu panjang suatu negara bagian atau zona berada di arah timur-barat.



Gambar 3.32: Zona sistem koordinat State Plane dan kode FIPS untuk California berdasarkan datum NAD27 dan NAD83. Perhatikan bahwa zona 407 dari NAD27 digabungkan ke zona 405 di NAD83.

Paralel standar untuk proyeksi kerucut konformal Lambert, dijelaskan sebelumnya, ditentukan untuk setiap zona Bidang Negara. Paralel ini ditempatkan pada seperenam lebar zona dari batas utara dan selatan zona (Gambar kanan). Sebuah meridian tengah zona ditentukan pada bujur dekat pusat zona. Titik meridian pusat ini berada di garis kisi utara; namun, semua meridian lain bertemu ke meridian tengah ini, jadi mereka tidak menunjuk ke grid utara. Kerucut konformal Lambert digunakan untuk zona State Plane untuk 31 negara bagian

3.5.5 Sistem Koordinat Nasional

Banyak pemerintah telah mengadopsi proyek standar untuk data nasional, terutama negara-negara kecil dan menengah di mana distorsi terbatas pada jarak yang direntangkan.

Negara-negara yang lebih besar mungkin tidak memiliki satu set standar, proyeksi nasional yang spesifik atau terpadu, terutama untuk data GIS, karena distorsi biasanya tidak dapat dihindarkan besar ketika menjangkau jarak yang sangat jauh di kedua garis lintang dan garis bujur di peta yang sama. Tidak ada proyeksi tunggal yang secara tepat merepresentasikan jarak, area, atau sudut di seluruh negeri, sehingga proyeksi yang lebih terbatas digunakan untuk analisis, dan hasilnya dikumpulkan ke area yang lebih luas. Proyeksi semi-standar dapat digunakan untuk grafik atau ilustrasi, tetapi ini tidak diadopsi secara luas. Misalnya, peta pemerintah federal yang lebih rendah sering menggunakan peta kerucut konformal Lambert dengan kesejajaran standar pada 33° dan 45°, dengan Meridian tengah dekat 98° W. Nilai arah timur dan utara palsu ditetapkan untuk mempertahankan koordinat arah utara dan timur positif di seluruh sebuah kotak yang membatasi 48 negara bagian yang lebih rendah.

3.5.6 Proyeksi Kontinental dan Global

Ada proyeksi peta yang biasa digunakan saat menggambarkan peta benua, belahan bumi, atau wilayah besar lainnya. Seperti halnya dengan area yang lebih kecil, proyeksi peta untuk wilayah kontinental dapat dipilih berdasarkan properti distorsi dari peta yang dihasilkan. Distorsi proyeksi yang cukup besar di area, jarak, dan sudut biasa terjadi di sebagian besar proyeksi area luas. Sudut, jarak, dan area biasanya tidak diukur atau dihitung dari proyeksi ini, karena perbedaan antara nilai yang diturunkan dari peta dan nilai yang diukur permukaannya terlalu besar. Kebanyakan proyeksi di seluruh dunia digunakan untuk visualisasi, tetapi tidak untuk analisis kuantitatif.

Ada sejumlah proyeksi yang telah digunakan secara luas di dunia. Ini termasuk varian proyeksi Mercator, Goode, Mollweide, dan Miller, antara lain. Ada trade-off yang harus dibuat dalam proyeksi global, antara permukaan peta yang terus menerus dan distorsi.

Distorsi di peta dunia dapat dikurangi dengan menggunakan permukaan yang terpotong atau terputus. Parameter proyeksi atau permukaan yang berbeda dapat ditentukan untuk berbagai belahan dunia. Proyeksi mungkin secara matematis dibatasi untuk terus menerus di seluruh area yang dipetakan.

Gambar 3.33: Proyeksi homolosine yang bagus. Ini adalah contoh proyeksi terputus, yang sering digunakan untuk mengurangi beberapa bentuk distorsi saat menampilkan seluruh permukaan Bumi. (dari Snyder dan Voxland, 1989)

Gambar diatas mengilustrasikan proyeksi terputus dalam bentuk homolosin Goode. Proyeksi ini didasarkan pada proyeksi sinusoidal dan proyeksi Mollweide. Kedua jenis proyeksi ini digabungkan pada skala paralel yang identik. Paralel skala identik dalam contoh ini ditetapkan di dekat garis lintang tengah utara 44° 40 'N.

Proyeksi kontinental juga dapat ditetapkan. Umumnya, proyeksi dipilih untuk meminimalkan distorsi area atau bentuk di wilayah yang akan dipetakan. Kerucut konformal Lambert atau proyeksi kerucut lainnya sering dipilih untuk area dengan dimensi timur-barat yang panjang. Paralel standar ditempatkan di dekat bagian atas dan bawah wilayah benua untuk mengurangi distorsi di seluruh wilayah.

3.5.7 Sistem Survei Tanah Umum

PLSS bukanlah sistem koordinat, namun titik PLSS. PLSS membagi tanah dengan garis utara-selatan, terpisah 6 mil, sejajar dengan meridian utama. Garis timur-barat disurvei tegak lurus terhadap garis utara-selatan ini, juga dengan interval enam mil. Garis-garis ini membentuk kota-kota persegi. Setiap kotapraja dibagi lagi menjadi 36 bagian, setiap bagian kira-kira satu mil di satu sisinya. Setiap bagian dibagi lagi menjadi seperempat mil (satu setengah mil di satu sisi), atau enam belas bagian (seperempat mil di satu sisi). Bagian diberi nomor dalam pola zigzag dari satu sampai 36, dimulai dari sudut timur laut.

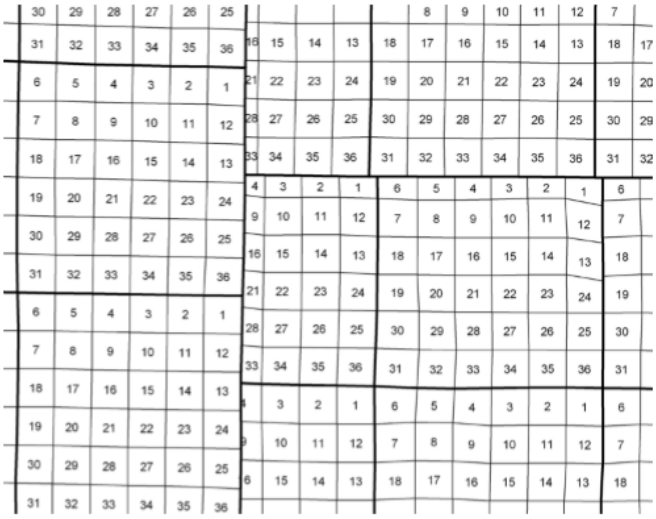
6	5	4	3	2	1
7	8	9	10	11	12
18	17	16	15	14	13
19	20	21	22	23	24
30	29	28	27	26	25
31	32	33	34	35	36

Gambar 3.34: Tata letak khas dan penomoran bagian dari kotapraja PLSS

PLSS adalah metode standar untuk penunjukan dan pendeskripsian lokasi persil tanah. Itu digunakan untuk survei awal di sebagian besar Amerika Serikat setelah awal 1800-an, oleh karena itu hampir semua tanah di luar tiga belas koloni asli menggunakan PLSS. Sistem kisi yang kira-kira seragam dibuat di seluruh lanskap, dengan penyesuaian berkala yang

digabungkan untuk memperhitungkan kesalahan yang diantisipasi. Paket ditentukan berdasarkan lokasinya dalam sistem kisi ini.

PLSS dikembangkan karena sejumlah alasan. Pertama, ini dilihat sebagai metode untuk memperbaiki banyak kekurangan metes and bounds surveying, metode yang paling umum untuk survei sebelum adopsi PLSS. Mete and bounds mendeskripsikan parsel yang berkaitan dengan fitur pada lanskap, terkadang dilengkapi dengan pengukuran sudut atau jarak. Metes and bounds digunakan pada zaman kolonial, tetapi deskripsi parsel sering kali ambigu. Parsel yang dibagi lagi sering kali tidak dijelaskan dengan baik, dan karenanya menjadi sumber banyak proses pengadilan, niat buruk, dan banyak transaksi real estat yang dipertanyakan.

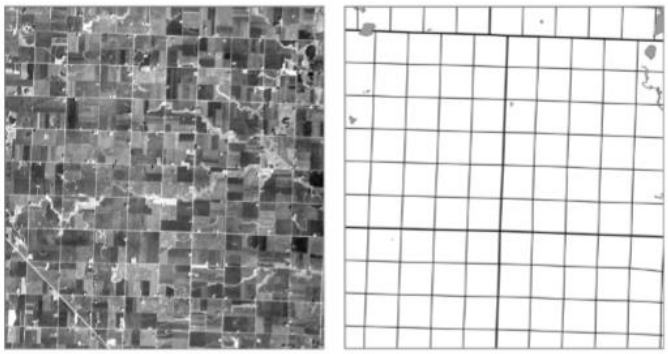


Gambar 3.35 : Contoh variasi ukuran dan bentuk bagian PLSS. Sebagian besar bagian berukuran kira-kira satu mil persegi dengan garis bagian sejajar atau tegak lurus dengan meridian utama, seperti yang diilustrasikan oleh kotapraja di kiri atas gambar ini. Namun, penyesuaian karena meridian utama yang berbeda, pihak survei yang berbeda, dan kesalahan menghasilkan ukuran dan bentuk bagian yang tidak beraturan.

Surveyor biasanya menandai bagian sudut dan seperempat sudut saat menjalankan garis survei. Titik-titik ditandai dengan sejumlah metode, termasuk tumpukan batu, lubang, bekas api yang dipahat di pohon, dan pipa atau tiang yang dibenamkan ke dalam tanah.

Karena tujuan utama survei PLSS adalah untuk mengidentifikasi persil, lokasi garis dan sudut dianggap statis pada saat penyelesaian survei, meskipun sudut tersebut jauh dari lokasi yang dimaksudkan. Kesalahan survei tidak dapat dihindari mengingat luasnya wilayah dan jumlah pihak survei yang terlibat. Alih-alih mengundang perselisihan dan penyesuaian yang tak ada habisnya, PLSS menetapkan bahwa batas-batas yang ditetapkan oleh surveyor PLSS yang ditunjuk tidak dapat diubah, dan bahwa kotapraja dan sudut bagian harus diterima sebagai benar. Bagian tipikal berisi sekitar 640 hektar, tetapi sebagian karena kesalahan dalam survei, bagian yang lebih besar dari 1200 hektar dan lebih kecil dari 20 hektar juga dibuat.

PLSS penting hari ini karena beberapa alasan. Pertama, karena jalur PLSS sering kali merupakan batas properti, jalur tersebut membentuk koridor alami untuk menempatkan jalan, kabel listrik, dan layanan publik lainnya; mereka sering terlihat di lanskap.



Gambar 3.36: Garis PLSS sering terlihat di lanskap. Jalan (garis terang pada gambar, kiri atas) sering mengikuti jalur ruas dan garis kota (kanan atas).

Banyak persimpangan jalan terjadi di titik sudut PLSS, dan ini dapat dilihat dan dirujuk pada banyak peta atau *gambar* yang digunakan untuk upaya pengembangan database GIS. Jadi PLSS sering membentuk sistem yang nyaman untuk mengatur layer data GIS. Sudut dan garis PLSS sering diplot pada peta pemerintah (misalnya, 1: 24.000 paha depan) atau tersedia sebagai data digital (misalnya, Grafik Garis Digital Pusat Informasi Kartografi Nasional). Lebih lanjut, sudut PLSS kadang-kadang disurvei ulang menggunakan metode presisi tinggi untuk memberikan kontrol garis properti, terutama ketika GIS akan dikembangkan. Dengan demikian, titik-titik ini mungkin berguna untuk menempatkan dan mengarahkan layer data spasial dengan tepat di permukaan bumi.

Gambar 3.37 : Sudut PLSS yang telah disurvei dan ditandai dengan tugu. Tugu ini menunjukkan letak fisik suatu ruas sudut. Titik-titik ini sering digunakan sebagai titik kontrol untuk pengembangan data spasial selanjutnya.

3.6 Kesimpulan

GIS: Sistem informasi geografis (geographic information system) adalah sistem informasi yang sumber input utamanya basis yang terdiri dari data yang direferensikan oleh spasial (atau tanah, atau geografis). Sistem menerima parameter, memeriksa database-nya, dan menyediakan informasi untuk pengambilan keputusan dan manajemen sumber daya. Dalam sistem informasi spasial otomatis, bagian utama dari perangkat yang melakukan pemrosesan adalah komputer digital elektronik. Sebagian besar database yang digunakannya disimpan di hard drive komputer di server atau PC.

Untuk memasukkan koordinat dalam GIS, kita perlu menentukan lokasi semua titik di Bumi secara unik. Kita harus mengembangkan kerangka acuan untuk sistem koordinat kita, dan menempatkan posisi pada sistem ini. Karena Bumi adalah permukaan yang melengkung dan kita bekerja dengan peta datar, kita harus mempertemukan kedua pandangan dunia ini. Kami

menentukan posisi di dunia melalui geodesi dan survei. Kami mengubah lokasi ini menjadi permukaan datar melalui proyeksi peta.

Kita mulai dengan memodelkan bentuk bumi dengan elipsoid. Elipsoid berbeda dari geoid, permukaan bumi yang ditentukan secara gravitasi, dan perbedaan ini menyebabkan kebingungan awal dalam penerapan elipsoid global standar. Ada sejarah panjang dalam pengukuran ellipsoidal, dan kami telah sampai pada perkiraan terbaik untuk ellipsoid global dan regional setelah mengumpulkan set pengukuran permukaan dan astronomi yang besar dan dengan susah payah dikembangkan. Pengukuran ini digabungkan menjadi datum, dan datum ini digunakan untuk menentukan lokasi koordinat titik di permukaan bumi.

Proyeksi peta adalah penggambaran sistematis dari titik-titik dari permukaan bumi yang melengkung ke permukaan peta yang datar. Meskipun ada banyak proyeksi peta yang murni matematis atau empiris, proyeksi peta yang paling umum digunakan dalam GIS didasarkan pada permukaan yang dapat dikembangkan. Kerucut, silinder, dan bidang adalah permukaan yang paling umum dikembangkan. Proyeksi peta dibangun dengan melewatkan sinar dari pusat proyeksi melalui permukaan bumi dan permukaan yang dapat dikembangkan. Titik-titik di Bumi diproyeksikan sepanjang sinar dan ke permukaan yang bisa dikembangkan. Permukaan ini kemudian dibuka gulungannya secara matematis untuk membentuk peta datar.

Transformasi datum sering kali diperlukan saat melakukan proyeksi peta. Transformasi datum menjelaskan perbedaan koordinat geografis karena perubahan bentuk atau asal spheroid, dan dalam beberapa kasus penyesuaian datum. Transformasi datum harus diterapkan sebagai langkah dalam proses proyeksi peta ketika datum input dan output berbeda.

Sistem pembagian tanah didirikan di Amerika Serikat yang dikenal sebagai Sistem Survei Tanah Publik (PLSS). Ini bukan sistem koordinat melainkan metode untuk mendefinisikan bidang-bidang tanah secara tidak ambigu dan sistematis berdasarkan garis survei yang diberi jarak secara teratur di sekitar arah utara-selatan dan timur-barat. Koordinat persimpangan telah diukur secara tepat untuk banyak dari garis survei ini, dan sering digunakan sebagai kisi referensi untuk survei lebih lanjut atau pembagian lahan.

3.7 Soal Latihan

1. Jelaskan bagaimana Eratosthenes memperkirakan keliling Bumi. Nilai apa yang dia peroleh?
2. Asumsikan Bumi berbentuk bulat (bukan elipsoid). Juga asumsikan Anda telah mengulangi pengukuran Poseidonius. Berapa perkiraan Anda untuk jari-jari bola bumi berdasarkan pasangan jarak / sudut berikut. Perhatikan bahwa jarak yang diberikan di bawah ini dalam meter, dan sudut dalam derajat, dan kalkulator atau spreadsheet mungkin mengharuskan Anda memasukkan sudut dalam radian untuk fungsi trigonometri (1 radian = 57.2957795 derajat):
    a. sudut = 1° 18 '45.79558 ", jarak = 146.000 meter
    b. sudut = 0° 43 '32.17917 ", jarak = 80.500 meter
    c. sudut = 0° 3' 15.06032", jarak = 6.000 meter
3. Asumsikan Bumi berbentuk bulat (bukan elipsoid). Juga asumsikan Anda telah mengulangi pengukuran Poseidonius. Berapa perkiraan Anda untuk jari-jari bola bumi berdasarkan pasangan jarak / sudut berikut. Perhatikan bahwa jarak diberikan dalam meter, dan sudut dalam derajat, dan kalkulator atau spreadsheet mungkin

mengharuskan Anda memasukkan sudut dalam radian untuk fungsi trigonometri (1 radian = 57.2957795 derajat):

a. sudut = 2º 59 '31.33325 ", jarak = 332.000 meter
b. sudut = 9º 12 '12.77201 ", jarak = 1.020.708 meter
c. sudut = 1º 2' 12.15566", jarak = 115.200 meter

4. Apa itu ellipsoid? Apa perbedaan elips dengan bola? Apa rumus untuk faktor perataan?
5. Berikan tiga alasan mengapa ada berbagai perkiraan untuk jari-jari elipsoid Bumi.
6. Tentukan geoid. Ceritakan perbedaannya dari ellipsoid, dan dari permukaan bumi. Jelaskan bagaimana kami mengukur posisi geoid.
7. Tentukan paralel atau meridian dalam sistem koordinat geografis. Jelaskan di mana garis nol terjadi.
8. Apa perbedaan utara magnet dari Kutub Utara geografis?
9. Tentukan datum. Jelaskan bagaimana datum dikembangkan.
10. Mengapa ada banyak datum, bahkan untuk tempat yang sama di Bumi? Tentukan apa yang kami maksud ketika kami mengatakan ada pergeseran datum.
11. Apa itu survei triangulasi, dan apa patokannya?
12. Mengapa kami tidak mengukur ketinggian vertikal relatif terhadap permukaan laut rata-rata?
13. Apa perbedaan antara tinggi ortometrik dan tinggi dinamis?
14. Gunakan versi World Wide Web atau unduh dan mulai perangkat lunak HTDP dari situs NOAA / NGS AS (pada saat penulisan ini, http://www.ngs.noaa.gov/ TOOLS / Htdp / Htdp.shtml) , dan lengkapi tabel berikut. Gunakan alat untuk perpindahan horizontal antara dua tanggal. Masukkan tanggal mulai dan berhenti epoch masing-masing 1, 1, 1986 dan 1,1, 2015. Tentukan tinggi nol atau z untuk transformasi datum Anda. Gunakan rumus aproksimasi Bumi bulat saat menghitung jarak pergeseran permukaan, dalam sentimeter (cm), dengan asumsi radius 6.371 kilometer. Laporkan pergeseran tanah dari 1986 ke periode waktu 2015.

	NAD83(2011) - 1986		NAD83(2011) - 2015		Surface shift distance (cm)	
Pnt	latitude	longitude	latitude	longitude	latitude	longitude
1	32°44'15"	117°09'42"	32°44'15.0292"	117°09'42.0298"	-90.2	-92.0
3	43°07'59"	89°20'11"	43°07'58.9954"	89°20'10.9973"		
5	40°00'00"	105°16'01"				
7			38°51'0.992"	77°02'20.9978"		

15. Gunakan versi World Wide Web atau unduh dan mulai perangkat lunak HTDP dari situs NOAA / NGS AS (pada saat penulisan ini, http://www.ngs.noaa.gov/ TOOLS / Htdp / Htdp.shtml) , dan lengkapi tabel berikut. Gunakan alat untuk perpindahan horizontal antara dua tanggal. Masukkan tanggal mulai dan berhenti epoch masing-masing 1, 1, 1986 dan 1,1, 2015. Tentukan tinggi nol atau z untuk transformasi datum Anda. Gunakan rumus aproksimasi Bumi bulat saat menghitung jarak pergeseran permukaan, dalam sentimeter (cm), dengan asumsi radius 6.371 kilometer. Laporkan jarak tanah antar titik dari periode 1986 hingga 2015.

	NAD83(2011) - 1986		NAD83(2011) - 2015		Surface shift distance (cm)	
Pnt	latitude	longitude	latitude	longitude	latitude	longitude
2	47°27'55"	122°18'06"	47°27'55.0052"	122°18'05.9914"	-16.1	26.6
4	29°58'07"	95°21'31"	29°58'07.0002"	95°21'30.9981"		
6	24°33'30"	81°45'19"				
8			46°51'59.9983"	68°00'59.9970"		

16. Gunakan perangkat lunak VDatum (tersedia pada saat penulisan ini di http://vdatum.noaa.gov/) untuk melengkapi tabel. Perhatikan bahwa semua bujur adalah barat, dimasukkan sebagai angka negatif.

		NAD27			NAD83(2011)		
Pnt	State	latitude	longitude	elevation (m)	latitude	longitude	elevation (m)
1	Calif.	32°40'00"	-117°00'00"	200	32°40'00.1890"	-117°00'03.0990"	200.654
3	Washington	48°30'00"	-122°00'00"	200			
5	Maine	47°00'00"	-69°00'00"	200			
7	Florida	25°00'00"	-81°30'00"	1			

17. Gunakan perangkat lunak VDatum (tersedia pada saat penulisan ini di http://vdatum.noaa.gov/) untuk melengkapi tabel. Perhatikan bahwa bujur barat, dimasukkan sebagai angka negatif.

		NAD27			NAD83(2011)		
Pnt	State	latitude	longitude	elevation (m)	latitude	longitude	elevation (m)
2	Minnesota	45°00'00"	-95°00'00"	200	45°59'59.8684"	-95°00'01.0170"	200.169
4	Texas	30°15'00"	-97°45'00"	200			
6	Colorado	38°00'00"	-107°45'00"	3000			
8	N. Carolina	35°40'00"	-82°30'00"	500			

18. Gunakan perangkat lunak VDatum untuk menghitung perubahan ketinggian ortometrik, dalam sentimeter, untuk koordinat geografis NAD83 (2011) yang terdaftar, saat beralih dari NAVD (geoid12A) sebagai sumber, ke geoid 2009, 1999, dan 1996 masing-masing geoid.

Pnt	State	latitude	longitude	geoid12A elevation (m)	Δheight (cm), to geoid09	Δheight (cm), to geoid99	Δheight (cm), to geoid96
1	Calif.	32°40'00"	-117°00'00"	200	0	4.5	6.1
3	Washington	48°30'00"	-122°00'00"	200			
5	Maine	47°00'00"	-69°00'00"	200			
7	Florida	25°00'00"	-81°30'00"	1			

19. Gunakan perangkat lunak VDatum untuk menghitung perubahan ketinggian ortometrik, dalam sentimeter, untuk koordinat geografis NAD83 (2011) yang terdaftar, saat beralih dari, NAVD (geoid12A) sebagai sumber, ke geoid 2009, 1999, dan 1996 masing-masing geoid.

Pnt	State	latitude	longitude	geoid12A elevation (m)	Δheight (cm), to geoid09	Δheight (cm), to geoid99	Δheight (cm), to geoid96
2	Minnesota	45°00'00"	-95°00'00"	200	2.9	7.7	8.1
4	Texas	30°15'00"	-97°45'00"	200			
6	Colorado	38°00'00"	-107°45'00"	3000			
8	N. Carolina	35°40'00"	-82°30'00"	500			

20. Apakah permukaan yang bisa dikembangkan? Bentuk apa yang paling umum untuk permukaan yang bisa dikembangkan?

3.8 Daftar Pustaka

Bossler, J.D. (2002). Datums and geodetic systems. In J. Bossler (Ed.), Manual of Geospatial Technology. London: Taylor and Francis.

Brandenburger, A.J., Gosh, S K. (1985). The world's topographic and cadastral mapping operations. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51:437–444.

Burkholder, E.F. (1993). Computation of horizontal/level distances. Journal of Surveying Engineering, 117:104–119.

Colvocoresses, A.P. (1997). The gridded map. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63:371–376.

Doyle, F.J. (1997). Map conversion and the UTM Grid. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63:367–370.

Elithorpe, J.A.Jr., Findorff, D.D. (2009). Geodesy for Geomatics and GIS Professionals. Acton: Copley Custom Textbooks.

Featherstone, W.E., Kuhn, M. (2006). Height systems and vertical datums: a review in the Australian context. Journal of Spatial Science, 51:21–41.

Habib, A. (2002). Coordinate transformation. In J. Bossler (Ed.), Manual of Geospatial Technology. London: Taylor and Francis.

Flacke, W., Kraus, B. (2005). Working with Projections and Datum Transformations in ArcGIS: Theory and Practical Examples. Norden: Points Verlag.

Iliffe, J.C., Lott, R. (2008). Datums and Map Projections for Remote Sensing, GIS, and Surveying. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press.

Janssen, V. (2009). Understanding coordinate reference systems, datums, and transformations. International Journal of Geoinformatics, 5:41–53.

Keay, J. (2000). The Great Arc. New York: Harper Collins.

Leick, A. (1993). Accuracy standards for modern three-dimensional geodetic networks. Surveying and Land Information Systems, 53:111–127.

Maling, D.H. (1992). Coordinate Systems and Map Projections. London: George Phillip.

Meyer, T.H., Roman, D.H., Zilkoski, D.B. (2006). What does height really mean? Part III: Height systems. Surveying and Land Information Systems, 66:149–160.

Milbert, D. (2008). An analysis of the NAD83(NSRS2007) National Readjustment. Downloaded 9/12/2011 from http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/NSRS2007

National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), TR8350.2 World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationship with Local Geodetic Systems. http://earthinfo.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350_2.html

NOAA Manual NOS NGS 5 State Plane Coordinate System of 1983. http:// www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/ManualNOSNGS5.pdf

Schwartz, C.R. (1989). North American Datum of 1983, NOAA Professional Paper NOS 2. Rockville: National Geodetic Survey.

Smith, J. (1997). Introduction to Geodesy: The History and Concepts of Modern Geodesy. New York: Wiley.

Sobel, D. (1995). Longitude. New York: Penguin Books.

Soler, T., Snay, R.A.(2004). Transforming positions and velocities between the International Terrestrial Reference Frame of 2000 and the North American Datum of 1983. Journal of Surveying Engineering, 130:49–55.

Snay, R.A., Soler, T. (1999). Modern terrestrial reference systems, part 1. Professional Surveyor, 19:32–33.

Snay, R.A. Soler, T. (2000). Modern terrestrial reference systems, part 2. The evolution of NAD83. Professional Surveyor, 20:16–18.

Snay, R.A., Soler, T. (2000). Modern terrestrial reference systems, part 3. WGS84 and ITRS. Professional Surveyor, 20:24–28.

Snay, R.A., Soler, T. (2000). Modern terrestrial reference systems, part 4. Practical considerations for accurate positioning. Professional Surveyor, 20:32–34.

Snyder, J. (1993). Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections. Chicago: University of Chicago Press.

Snyder, J. P. (1987). Map Projections, A Working Manual, USGS Professional Paper No. 1396. Washington, D.C.: United States Government Printing Office.

Snyder, J.P., Voxland, P.M. (1989). An Album of Map Projections, USGS Professional Paper No. 1453. Washington D.C.: United States Government Printing Office.

Tobler, W.R. (1962). A classification of map projections. Annals of the Association of American Geographers, 52:167–175.

U.S. Coast and Geodetic Survey Special Publication 235 The State Coordinate Systems - http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/publication235.pdf

Van Sickle, J. (2010). Basic GIS Coordinates, 2nd Edition. Boca Raton: CRC Press.

Vanicek, P., Steevens, R.H. (1996). Transformation of coordinates between two horizontal geodetic datums. Journal of Geodesy, 70:740–745.

Welch, R., Homsey, A. (1997). Datum shifts for UTM coordinates. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63:371–376.

Wolf, P. R., Ghilani, C.D. (2002). Elementary Surveying. 10th ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

Yang, Q., Snyder, J.P., Tobler, W.R. (2000). Map Projection Transformation: Principles and Applications. London: Taylor & Francis.

Zenk, D. (2014). Correct use of NAD83 realizations and geoid model. Minnesota Surveyor, 22:16–18.

Zilkoski, D., Richards, J., Young, G. (1992). Results of the general adjustment of the North American Vertical Datum of 1988. Surveying and Land Information Systems, 53:133–149.

BAB 4
MAPS, DATA ENTRI, EDITING DAN OUTPUT

4.1 Membangun Database GIS

4.1.1 Pendahuluan

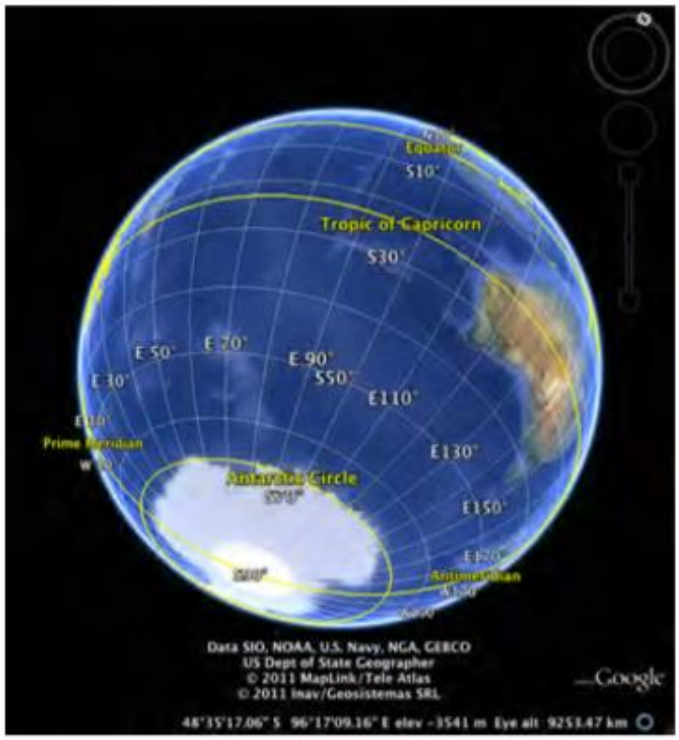
Entri dan pengeditan data spasial merupakan kegiatan yang sering dilakukan oleh banyak pengguna GIS. Koordinat dalam jumlah besar diperlukan untuk merepresentasikan fitur dalam GIS, dan setiap nilai koordinat harus dimasukkan ke dalam database GIS. Proses ini sering kali sangat lambat, bahkan dengan teknik otomatis, dan entri dan pengeditan data spasial membutuhkan waktu yang signifikan bagi sebagian besar organisasi.

Gambar 4.1: Peta telah berfungsi untuk menyimpan pengetahuan geografis setidaknya selama 4000 tahun terakhir. Peta awal Eropa utara ini menunjukkan perkiraan bentuk dan lokasi relatif.

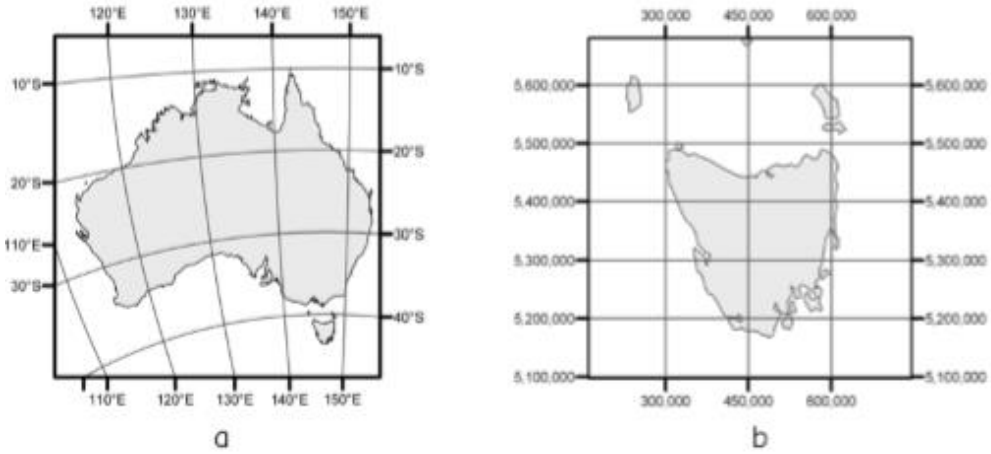
Sebagian besar sumber data spasial dapat dikategorikan sebagai hardcopy atau digital. Formulir hardcopy adalah dokumen yang digambar, ditulis, atau dicetak, termasuk peta yang digambar tangan, data survei yang diukur secara manual, catatan hukum, dan daftar koordinat dengan data tabel yang terkait. Sebagian besar data spasial historis dicatat pada peta, dan meskipun tidak semua peta cocok untuk dikonversi ke format digital, banyak peta yang cocok. Banyak data dibuat dari sumber hardcopy di tahun-tahun awal GIS melalui digitalisasi, proses pengumpulan koordinat digital. Digitalisasi adalah metode entri data yang umum saat ini, meskipun terutama dari *gambar* satelit dan udara.

Peta digital, sebuah penggambaran grafik elektronik dari data spasial, sejauh ini merupakan bentuk peta yang paling umum saat ini. Jutaan peta elektronik dibuat setiap jam, disusun sesuai permintaan sebagai tanggapan atas permintaan web, sistem navigasi mobil, dan untuk

perdagangan dan periklanan. Peta-peta ini fleksibel, mudah disesuaikan, didistribusikan dengan murah, dan seringkali dinamis.



Gambar 4.2: Contoh peta digital yang biasa diproduksi (milik Google).



Gambar 4.3: Peta sering menggambarkan garis yang mewakili (a) garis lintang dan bujur konstan atau (b) kisi koordinat x dan y konstan.

Peta sering kali menggambarkan garis koordinat. Ketika garis mewakili lintang dan bujur konstan, satu set garis koordinat disebut graticule (Gambar a). Garis-garis ini mungkin tampak melengkung, tergantung pada skala peta, sistem koordinat peta, dan lokasi area di permukaan bumi. Peta juga dapat menggambarkan kisi yang terdiri dari garis koordinat konstan. Garis kisi biasanya digambar dalam arah x dan y, dan tampak lurus pada kebanyakan peta (Gambar b). Graticule dan grid berguna karena memberikan referensi lokasi mana yang dapat diperkirakan dengan cepat. Graticule sangat berguna untuk menggambarkan distorsi yang melekat pada

proyeksi peta, karena Graticules menunjukkan bagaimana garis geografis utara atau timur dideformasi, dan bagaimana distorsi ini bervariasi di seluruh peta. Grid dapat membentuk proyeksi peta ke utara, berbeda dengan utara geografis, dan mungkin berguna saat mencoba menavigasi atau menemukan posisi di peta.

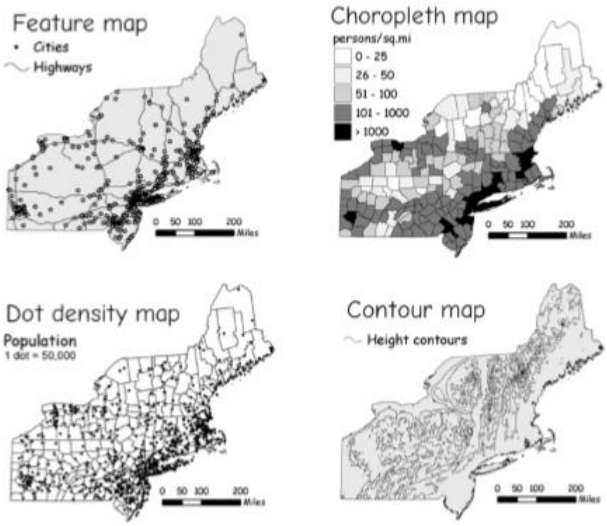
Gambar historis dan terkini adalah sumber data geografis yang berharga, dan meskipun bukan peta, garisnya menjadi kabur, karena foto udara dan satelit menjadi latar belakang umum untuk peta digital. Foto biasanya tidak memberikan tampilan ortografik (datar, tidak terdistorsi), dan rumah, sungai, atau fitur menarik tidak diidentifikasi secara eksplisit. Namun, gambar adalah sumber informasi geografis yang kaya, dan teknik standar dapat digunakan untuk menghilangkan distorsi sistematis utama dan fitur ekstraksi, melalui digitalisasi manual.

Data spasial digital adalah yang disediakan dalam format yang kompatibel dengan komputer. Ini termasuk layer data raster dan vektor lengkap, file teks, daftar koordinat, dan gambar digital. File dan format ekspor dapat digunakan untuk mentransfernya ke sistem GIS lokal. Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS). Terakhir, banyak sumber *gambar* digital yang tersedia, seperti *gambar* satelit atau udara yang dikumpulkan dalam format raster digital, atau foto udara hardcopy yang telah dipindai untuk menghasilkan *gambar* digital.

Data hardcopy merupakan sumber informasi geografis yang penting karena berbagai alasan. Pertama, sebagian besar informasi geografis yang dihasilkan sebelum 1980 dicatat dalam bentuk hardcopy. Kemajuan dalam bidang optik, metalurgi, dan industri selama abad ke-18 dan ke-19 memungkinkan produksi massal perangkat survei yang tepat, dan pada pertengahan abad ke-20, sebagian besar dunia telah diplot pada peta kualitas kartometrik. Peta kartometrik adalah peta yang secara tepat merepresentasikan posisi relatif objek dan dengan demikian mungkin cocok sebagai sumber data spasial.

Sementara banyak data spasial telah dikumpulkan dari sumber hardcopy, entri data dari sumber digital sekarang mendominasi. Koordinat semakin banyak ditangkap melalui interpretasi sumber gambar digital atau dikumpulkan langsung di lapangan oleh layanan penentuan posisi berbasis satelit.

4.1.2 Jenis Peta



Gambar 4.4 : Jenis peta hard copy umum

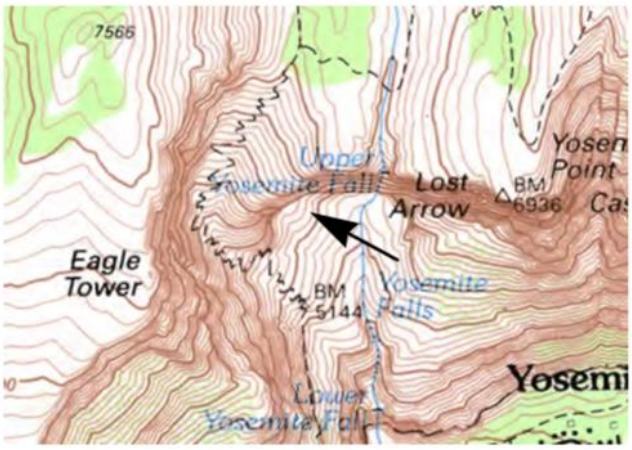
Banyak jenis peta diproduksi, dan jenisnya sering disebut dengan cara fitur digambarkan pada peta. Peta fitur termasuk yang paling sederhana, karena memetakan titik, garis, atau area dan memberikan informasi nomina.

Sebuah jalan dapat diplot dengan simbol yang menjelaskan jenis jalan atau sebuah titik dapat dibuat plot yang menunjukkan lokasi pusat kota, tetapi lebar jalan atau jumlah penduduk kota tidak diberikan dalam naungan atau simbologi lainnya pada peta. . Peta fitur mungkin adalah bentuk peta yang paling umum, dan contohnya termasuk sebagian besar peta jalan, dan seri peta standar seperti peta topografi 7,5 menit yang dihasilkan oleh Survei Geologi AS.

Peta Choropleth menggambarkan informasi kuantitatif untuk area. Variabel yang dipetakan seperti kepadatan populasi dapat ditampilkan di peta (Gambar kanan atas). Poligon menentukan batas wilayah, seperti kabupaten, negara bagian, jalur sensus, atau unit administratif standar lainnya. Setiap poligon diberi warna, bayangan, atau pola yang sesuai dengan nilai untuk variabel yang dipetakan ,; misalnya, pada Gambar kanan atas, poligon tergelap memiliki kepadatan populasi lebih dari 1000 orang per mil persegi.

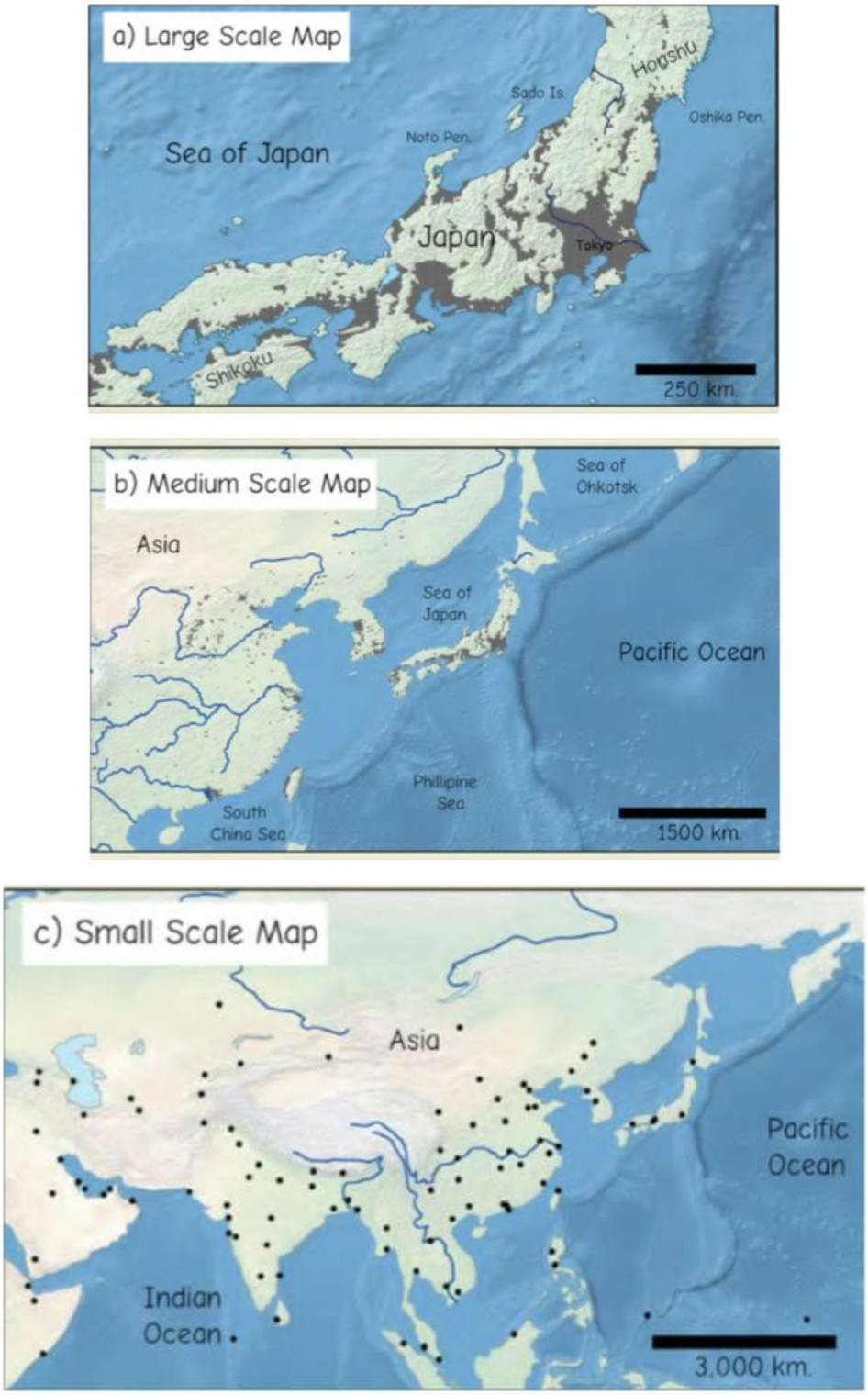
Peta kepadatan titik adalah bentuk peta lain yang biasa digunakan untuk menunjukkan data kuantitatif (Gambar kiri bawah). Titik atau simbol titik lainnya diplot untuk mewakili nilai. Titik-titik ditempatkan dalam poligon sehingga jumlah titik sama dengan nilai total poligon. Perhatikan bahwa titik biasanya ditempatkan secara acak di dalam area poligon. Setiap titik pada peta di kiri bawah mewakili 50.000 orang; Namun, setiap titik bukanlah kota atau konsentrasi penduduk lainnya. Perhatikan posisi titik dalam peta kepadatan titik relatif terhadap lokasi kota di peta fitur tepat di atasnya.

Peta Isopleth, juga dikenal sebagai peta kontur, menampilkan garis dengan nilai yang sama (Gambar kanan bawah). Peta isopleth digunakan untuk merepresentasikan permukaan kontinu. Curah hujan, ketinggian, dan suhu adalah fitur yang biasanya direpresentasikan menggunakan peta isopleth. Garis pada peta isopleth mewakili nilai yang ditentukan, misalnya isopleth 10°C menentukan posisi lanskap pada suhu tersebut. Garis biasanya tidak bersilangan, karena tidak mungkin ada dua suhu berbeda di lokasi yang sama. Namun, peta isopleth biasanya digunakan untuk menggambarkan ketinggian, dan tebing atau medan yang menjorok memang memiliki beberapa ketinggian di lokasi yang sama. Dalam hal ini elevasi yang lebih rendah biasanya melewati “di bawah” elevasi yang lebih tinggi, dan isopleth diberi label dengan ketinggian tertinggi. Perhatikan bahwa isopleth biasanya merupakan permukaan yang diperkirakan, dengan garis yang digambar berdasar pengukuran pada serangkaian lokasi titik.



Gambar 4.5 : Garis pada peta isopleth biasanya tidak bersilangan. Namun, seperti yang ditunjukkan pada panah di gambar ini, garis mungkin bertepatan jika ada nilai yang sama. Di sini tebing atau overhang menghasilkan garis-garis isopleth yang menyatu.

4.1.3 Skala Peta



Gambar 4.5: Cakupan, jarak relatif, dan perubahan detail dari peta skala besar (atas) ke skala lebih kecil (bawah).

Semua peta memiliki skala, hubungan antara jarak di peta dan jarak yang sesuai yang diproyeksikan di Bumi. Skala peta sering kali dilaporkan sebagai konversi jarak, seperti satu inci ke satu mil, atau sebagai rasio tanpa satuan, seperti 1: 24.000, yang menunjukkan bahwa satuan jarak di peta sama dengan 24.000 satuan di permukaan bumi. Peta digital paling sering menggunakan metode ketiga untuk melaporkan skala, sebagai batang atau garis jarak yang diketahui, diberi label pada peta.

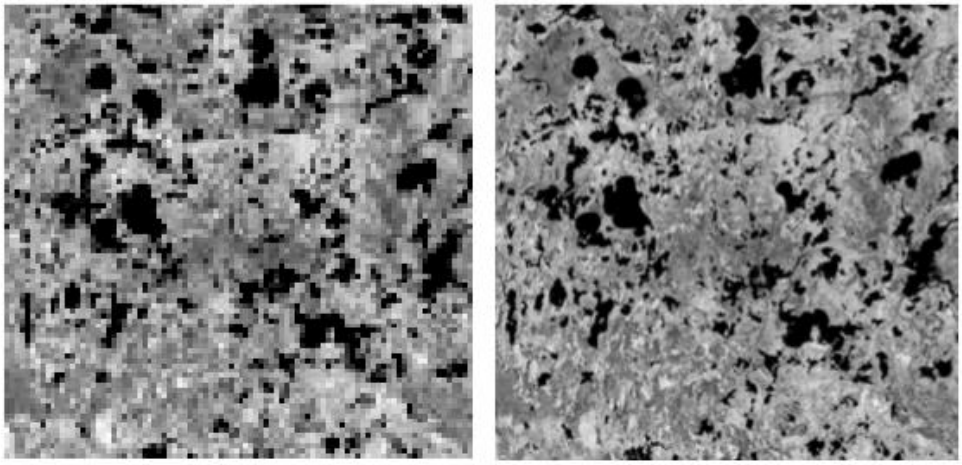
Perhatikan bahwa menggambarkan skala peta tidak ambigu ketika hanya peta hardcopy yang diproduksi. Rasio atau konversi tertulis, misalnya, 1 inci terhadap mil, adalah benar karena fiturnya ditetapkan di atas kertas atau media fisik lainnya. Skala tetap mungkin salah pada dokumen elektronik, karena dokumen dapat diubah dengan zoom, yang mengubah pembesaran pada tampilan elektronik. Satu inci seperti yang ditampilkan mungkin tidak sama dengan satu mil. Dokumen digital harus paling sering menyertakan batang skala tetap, yang menggambarkan jarak permukaan yang setara, misalnya, 1 km, tertanam di peta, atau beberapa mekanisme untuk menghitung ulang skala saat peta digital berubah ukuran di layar.

Pengertian skala besar vs. kecil seringkali membingungkan karena skala menyiratkan rasio atau pecahan. Rasio yang lebih besar menandakan peta berskala besar, jadi peta skala 1: 24.000 dianggap berskala besar dibandingkan dengan peta skala 1: 100.000. Banyak orang keliru menyebut peta skala 1: 100.000 sebagai skala yang lebih besar dari peta skala 1: 24.000 karena mencakup wilayah yang lebih luas. Peta skala 1: 100.000 dengan lebar 50 cm (20 inci) pada satu sisi mencakup lebih banyak permukaan tanah daripada peta skala 1: 24.000 yang berukuran 50 cm pada satu sisinya. Namun, yang menentukan skala peta adalah ukuran rasio atau pecahan, dan bukan area yang dicakup. Sangat membantu untuk mengingat bahwa fitur tampak lebih besar pada peta berskala besar. Penting juga untuk mengingat bahwa peta skala besar dengan ukuran kertas tertentu menunjukkan lebih banyak detail, tetapi lebih sedikit area. Perhatikan pada Gambar skala diatas, peta skala besar di bagian atas menunjukkan detail kota Tokyo. Tokyo menyusut dalam peta skala yang lebih kecil berturut-turut, tetapi area tambahan yang luas tercakup. Semakin besar rasionya (dan semakin kecil penyebutnya), semakin besar skala peta.

Karena peta sering kali melaporkan skala rata-rata, dan karena ada batas atas keakuratan data yang dapat diplot pada peta, peta skala besar umumnya memiliki kesalahan geometris yang lebih sedikit daripada peta skala kecil jika metode yang sama digunakan untuk memproduksinya. . Kesalahan kecil dalam pengukuran, plot, pencetakan, dan deformasi kertas diperbesar oleh faktor skala. Kesalahan ini, yang terjadi selama produksi peta, diperbesar lebih pada peta skala kecil daripada peta skala besar.

4.1.4 Generalisasi Peta

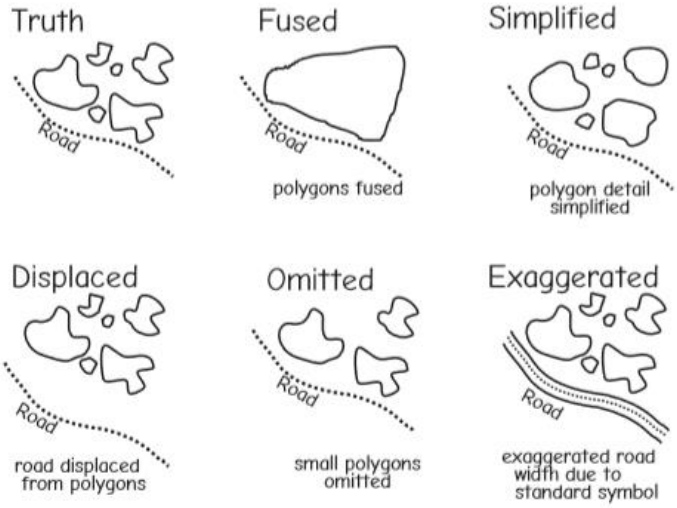
Peta adalah abstraksi realitas, seperti halnya data spasial dalam database GIS. Abstraksi ini memperkenalkan generalisasi peta, perkiraan fitur-fitur nyata yang tak terhindarkan ketika mereka direpresentasikan pada peta. Tidak semua detail geometris atau atribut dunia fisik dicatat; hanya karakteristik terpenting yang disertakan. Kumpulan fitur yang paling penting ditentukan secara subyektif dan akan berbeda di antara pengguna. Pembuat peta menentukan sekumpulan fitur untuk ditempatkan di peta, dan memilih metode untuk mengumpulkan serta mewakili bentuk dan lokasi fitur ini di peta.



Gambar 4.6: Seorang pembuat peta memilih bahan dan metode yang digunakan untuk menghasilkan peta, dan dengan demikian membatasi detail spasial. Di sini, pilihan gambar masukan dengan resolusi 250 meter (kiri) membuatnya tidak mungkin untuk mewakili semua detail batas danau yang sebenarnya (kanan). Dalam contoh ini, fitur yang lebih kecil dari kira-kira 250 meter pada satu sisi mungkin tidak ditampilkan sebagaimana mestinya di peta.

Pilihan sumber data dan metode pembuatan peta pasti akan membatasi ukuran dan bentuk fitur yang mungkin diwakili. Pertimbangkan proyek untuk memetakan danau, berdasarkan data gambar dengan ukuran sel 250 meter. Abstraksi garis pantai tidak akan merepresentasikan teluk dan semenanjung yang lebarnya lebih kecil dari kira-kira 250 meter, dengan pilihan sadar dari pembuat peta. Fitur kecil akan terlewatkan, detail tepi akan hilang, dan jarak di sepanjang batas akan bergantung pada resolusi gambar sumber.

Sumber resolusi yang lebih baik, seperti resolusi 30 meter, mungkin lebih menggambarkan detail peta, tetapi mungkin bukan pilihan yang tepat. Resolusi yang lebih baik mungkin lebih mahal, sulit untuk direproduksi, tidak tersedia untuk seluruh area pemetaan, atau tidak sesuai karena tidak menunjukkan fitur-fitur penting, misalnya, tipe vegetasi atau perkembangan terkini. Kartografer sering kali harus menyeimbangkan beberapa faktor dalam desain peta, dan pilihan mereka pasti mengarah pada beberapa bentuk generalisasi peta.



Gambar 4.6 : Generalisasi umum di peta.

GIS : Dr. Joseph T.S, S.Kom, M.Kom

Generalisasi fitur adalah salah satu bentuk generalisasi yang umum. Generalisasi fitur adalah modifikasi fitur saat merepresentasikannya di peta. Aspek geografis fitur digeneralisasi karena ada batasan waktu, metode, atau bahan yang tersedia saat mengumpulkan data geografis. Batasan ini juga berlaku saat menyusun atau mencetak peta. Generalisasi fitur ini, dapat digolongkan sebagai:

Fused : beberapa fitur dapat dikelompokkan untuk membentuk fitur yang lebih besar,

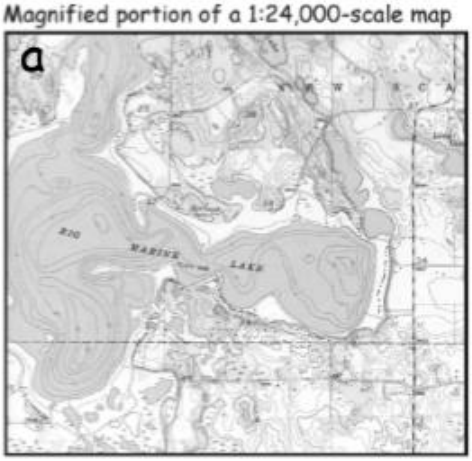
Simplifies : detail batas atau bentuk hilang atau "dibulatkan",

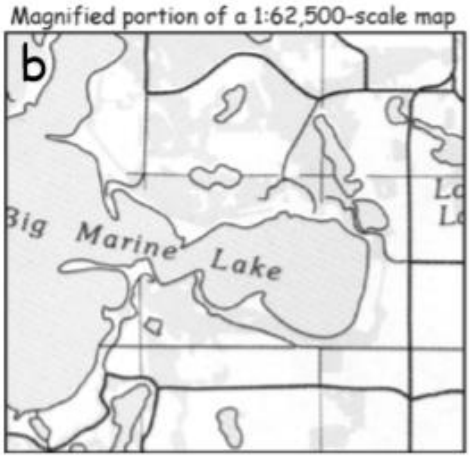
Displace : fitur dapat diimbangi untuk mencegah tumpang tindih atau untuk memberikan jarak standar antara simbol pemetaan,

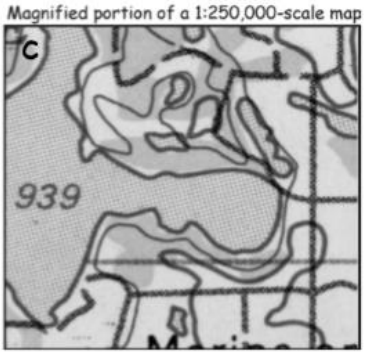
Omitted : Fitur kecil dalam grup mungkin dikecualikan dari peta, atau

Exaggerated : ukuran simbol standar sering dipilih, misalnya lebar simbol jalan standar, yang jauh lebih besar bila diskalakan daripada lebar jalan sebenarnya.

Generalisasi hadir di beberapa level di setiap peta, dan harus dikenali dan dievaluasi untuk setiap peta yang digunakan sebagai sumber data di GIS. Jika generalisasi menghasilkan kelalaian atau degradasi data di luar tingkat yang dapat diterima, maka analis atau organisasi harus beralih ke peta berskala lebih besar jika sesuai dan tersedia, atau kembali ke lapangan atau bahan sumber asli untuk mengumpulkan data pada ketepatan yang diperlukan.







Gambar 4.7 : Contoh generalisasi peta. Porsi ditampilkan untuk tiga peta untuk suatu area di Minnesota tengah. Kutipan dari peta skala besar (a, 1: 24.000), skala menengah (b, 1: 62.500), dan skala kecil (c, 1: 250.000) ditampilkan. Perhatikan bahwa peta tidak digambar pada skala sebenarnya untuk memfasilitasi perbandingan. Peta skala kecil (b dan c) telah diperbesar lebih dari a untuk menunjukkan efek generalisasi dengan lebih baik. Setiap peta memiliki tingkat generalisasi peta yang berbeda. Generalisasi meningkat dengan peta berskala lebih kecil dan mencakup penghilangan danau yang lebih kecil, pembesaran lebar jalan yang lebih besar berturut-turut, dan garis pantai yang semakin digeneralisasikan saat seseorang bergerak dari peta a sampai c.

4.1.5 Batasan Peta dan Data Spasial

Salah satu karakteristik terakhir dari peta mempengaruhi penggunaannya sebagai sumber data spasial: peta hardcopy memiliki tepian, dan diskontinuitas sering terjadi pada tepinya. Banyak data digital telah diubah dari peta kertas lama, sehingga diskontinuitas tepi telah dilakukan hingga saat ini. Kesalahan ini menghilang karena data yang lebih baru dikumpulkan dengan metode digital, tetapi akan ditemukan dan harus dipahami.

Peta berskala besar dan berkualitas tinggi umumnya mencakup area kecil. Ini karena trade-off antara skala dan cakupan area, dan karena batasan ukuran praktis peta. Peta kartometrik yang lebih besar dari satu meter dalam dimensi apa pun telah terbukti tidak praktis bagi sebagian besar organisasi. Peta di atas ukuran ini mahal dan sulit untuk dicetak, disimpan, atau dilihat. Dengan demikian, ergonomi manusia menetapkan batas praktis pada ukuran fisik sebuah peta.

Dimensi peta maksimum tetap jika digabungkan dengan skala peta tetap mendefinisikan cakupan area dari peta hardcopy. Peta berskala lebih besar umumnya mencakup wilayah yang lebih kecil. Peta skala 1: 100.000 dengan panjang 18 inci (47 cm) pada satu sisi membentang kira-kira 28 mil (47 km). Peta berskala 1: 24.000 yang berukuran 18 inci mewakili 9 mi (15 km) di permukaan bumi. Karena data spasial dalam GIS sering mencakup beberapa peta berskala besar, batas peta ini dapat terjadi dalam database spasial. Masalah sering muncul ketika peta yang berdekatan dimasukkan ke dalam database spasial karena fitur tidak sejajar atau memiliki atribut yang tidak cocok di seluruh batas peta.

Perbedaan waktu pengumpulan data untuk lembar peta yang berdekatan dapat menyebabkan ketidakkonsistenan lintas batas peta. Perubahan lanskap seiring waktu adalah sumber utama perbedaan lintas batas peta. Pemetaan asli berlangsung selama beberapa dekade, dan ada jeda waktu yang tak terhindarkan antara pemetaan beberapa wilayah yang berdekatan. Sebanyak dua dekade berlalu antara pemetaan atau pembaruan lembar peta yang berdekatan. Dengan demikian, banyak fitur, seperti jalan, kanal, atau batas kota, yang

terputus-putus atau tidak konsisten di seluruh lembar peta. Penafsir yang berbeda juga dapat menyebabkan perbedaan lintas batas peta. Proyek pemetaan wilayah besar biasanya mempekerjakan beberapa juru bahasa, masing-masing bekerja pada lembar peta yang berbeda untuk suatu wilayah. Semua upaya pemetaan area luas yang profesional harus memiliki protokol yang menetapkan skala, sumber, peralatan, metode, klasifikasi, kunci, dan korelasi silang untuk memastikan pemetaan yang konsisten melintasi batas lembar peta. Terlepas dari upaya ini, bagaimanapun, beberapa perbedaan karena interpretasi manusia terjadi. Penempatan fitur, tugas kategori, dan generalisasi bervariasi di antara interpreter. Masalah-masalah ini bertambah ketika pemeriksaan ekstensif dan pedoman tidak diberlakukan melintasi batas-batas lembar peta, terutama ketika area yang berdekatan dipetakan pada waktu yang berbeda atau oleh dua organisasi yang berbeda.

Terakhir, perbedaan dalam registrasi koordinat dapat menyebabkan ketidaksesuaian spasial di seluruh lembar peta. Registrasi, yang akan dibahas nanti dalam bab ini, adalah konversi digitizer atau data koordinat lainnya ke sistem koordinat permukaan bumi. Registrasi ini mengandung kesalahan yang tidak dapat dihindari yang diterjemahkan ke dalam ketidakpastian spasial. Mungkin ada ketidakcocokan saat data dari dua registrasi terpisah digabungkan di sepanjang tepi peta.

Data spasial yang disimpan dalam GIS tidak terikat oleh batasan yang sama yang membatasi dimensi fisik peta hardcopy. Penyimpanan digital memungkinkan produksi peta digital tanpa batas di area yang luas. Namun, ketidakkonsistenan yang ada pada peta hardcopy dapat ditransfer ke data digital. Inkonsistensi di tepi lembar peta perlu diidentifikasi dan diselesaikan saat peta diubah ke format digital.

4.2 Digitalisasi : Pengambilan Koordinat

Digitalisasi adalah proses di mana koordinat dari peta, gambar, atau sumber lain diubah menjadi format digital dalam GIS. Titik, garis, dan area pada peta atau gambar mewakili entitas atau fenomena dunia nyata, dan ini harus direkam dalam bentuk digital sebelum dapat digunakan dalam SIG. Nilai koordinat yang menentukan lokasi dan bentuk entitas harus ditangkap, yaitu dicatat sebagai angka dan terstruktur dalam database spasial. Ada banyak sekali data spasial dalam peta dan foto yang ada, dan *gambar* serta peta baru menambah sumber informasi ini secara terus menerus.

Digitalisasi manual adalah pengambilan koordinat yang dipandu manusia dari peta atau sumber gambar. Operator memandu perangkat elektronik di atas peta atau gambar dan memberi sinyal pengambilan koordinat penting, seringkali dengan menekan tombol pada perangkat digitalisasi. Fitur titik, garis, atau area penting dilacak pada bahan sumber, dan koordinat dicatat dalam format yang kompatibel dengan GIS. Data berharga pada peta sejarah dapat diubah menjadi bentuk digital melalui penggunaan digitalisasi manual. Digitalisasi pada layar dan digitalisasi hardcopy adalah dua bentuk digitalisasi manual yang paling umum.

4.2.1 Digitalisasi Pada Layar

Digitalisasi pada layar, juga dikenal sebagai digitalisasi pendahuluan, melibatkan digitalisasi secara manual pada layar komputer, menggunakan gambar digital sebagai latar belakang. Sebagian besar data gambar yang dihasilkan untuk entri data spasial sejak tahun 2010 dikirimkan dengan sistem koordinat yang ditentukan untuk gambar, sehingga data yang

diambil dari gambar ditentukan dalam sistem koordinat tersebut. Perangkat lunak digitalisasi memungkinkan operator untuk melacak titik, garis, atau poligon yang diidentifikasi pada gambar dan menyimpan koordinat dan menambahkan data atribut ke dalam layer data spasial. Perangkat lunak digitalisasi memungkinkan operator manusia untuk menentukan jenis fitur yang akan direkam, tingkat dan perbesaran gambar di layar, mode digitalisasi, dan opsi lain untuk mengontrol bagaimana data dimasukkan. Operator biasanya mengarahkan kursor ke titik yang akan direkam menggunakan mouse, dan menekan tombol atau urutan tombol untuk mengumpulkan koordinat titik.

Digitalisasi pada layar dapat digunakan untuk merekam informasi dari foto udara yang dipindai, foto digital, *gambar* satelit, atau *gambar* lainnya.

Digitalisasi pada layar seringkali lebih akurat daripada mendigitalkan dari sumber cetak karena ketidaktepatan penunjuk dari operator dan sistem digitalisasi diterjemahkan menjadi jarak tanah tetap saat mendigitalkan peta hardcopy. Misalnya, pertimbangkan operator yang dapat diandalkan untuk mendigitalkan lokasi ke terdekat 0,4 mm (0,01 in) pada peta skala 1: 20.000. Juga asumsikan tabel digitalisasi hardcopy terbaik yang tersedia sedang digunakan, dan kita tahu kesalahan yang diamati lebih besar daripada kesalahan di peta. Kesalahan 0,4 milimeter secara presisi diterjemahkan menjadi kesalahan sekitar 8 m di permukaan bumi. Presisi tidak dapat ditingkatkan secara signifikan saat menggunakan tabel digitalisasi, karena sebagian besar ketidaktepatan disebabkan oleh kemampuan operator. Sebaliknya, setelah peta dipindai, gambar dapat ditampilkan di layar komputer pada skala peta apa pun. Operator dapat memperbesar skala 1: 5.000 atau lebih besar pada layar, dan akurasi serta presisi digitalisasi akan ditingkatkan. Sementara faktor-faktor lain mempengaruhi keakuratan data spasial yang diturunkan (misalnya, pemetaan peta atau kesalahan produksi, atau akurasi pemindai), digitalisasi layar dapat digunakan untuk membatasi kesalahan posisi yang disebabkan oleh operator saat melakukan digitalisasi. Digitalisasi di layar juga menghilangkan atau mengurangi kebutuhan untuk mendigitalkan tabel atau pemindai peta, peralatan khusus yang digunakan untuk menangkap koordinat dari peta.

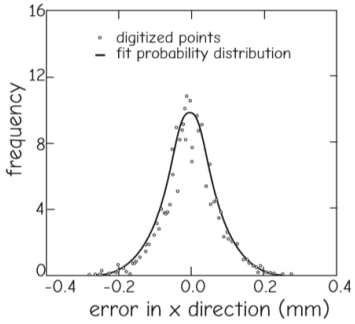
4.2.2 Digitalisasi Hardcopy Map

Digitalisasi hardcopy adalah pengambilan koordinat yang dipandu manusia dari kertas, plastik, atau peta hardcopy lainnya. Seorang operator dengan aman menempelkan peta ke permukaan digitalisasi dan menelusuri garis atau titik dengan puck yang peka terhadap listrik. Digitizer yang paling umum didasarkan pada kisi kawat yang tertanam di dalam atau di bawah tabel. Menekan tombol menentukan lokasi keping relatif terhadap sistem koordinat digitizer. Tabel digitalisasi cukup akurat, dengan resolusi antara 0,25 & 0,025 mm (0,01 dan 0,001 inci).

Tabel digitalisasi

Map Scale	Error (m)	Error (ft)
1:24,000	24	79
1:50,000	50	164
1:62,500	63	205
1:100,000	100	328
1:250,000	250	820
1:1,000,000	1,000	3,281

Meskipun pernah menjadi metode utama untuk menangkap data spasial, digitalisasi peta hardcopy semakin berkurang pentingnya karena sebagian besar dokumen kertas telah diubah ke bentuk digital. Mejanya besar, agak mahal, dan sekarang jarang digunakan. Namun, karena data dari sumber hardcopy cenderung bertahan selama beberapa dekade, dan masih banyak dokumen khusus yang harus diubah, Anda harus memahami prosesnya.



Gambar 4.8 : Kesalahan digitalisasi, didefinisikan dengan pengulangan digitalisasi. Poin berulang kali mendigitalkan cluster di sekitar lokasi sebenarnya dan mengikuti distribusi probabilitas normal (dari Bolstad et al., 1990).

Tidak semua peta cocok sebagai sumber informasi SIG. Jenis peta, cara pembuatannya, dan tujuan yang dimaksudkan harus dipertimbangkan saat menginterpretasikan informasi pada peta. Hanya peta kartometri yang harus langsung didigitalkan, dan meskipun kartometrik, peta mungkin tidak cocok. Populasi digambarkan dengan titik, tetapi titik-titik tersebut diplot dengan offset acak atau menggunakan beberapa metode yang tidak mencerminkan lokasi pasti dari populasi dalam setiap poligon. Sebelum informasi dalam peta kepadatan titik dimasukkan ke dalam GIS, peta harus diinterpretasikan dengan benar. Jumlah titik dalam poligon harus dihitung, angka ini dikalikan dengan populasi per titik, dan nilai populasi yang ditetapkan ke seluruh poligon.

Peta mungkin tidak cocok untuk digitasi karena media. Kebanyakan peta hardcopy ada di atas kertas karena ada di mana-mana, murah, dan mudah dicetak. Lipatan, lipatan, dan kerutan dapat menyebabkan deformasi peta kertas yang tidak seragam.

4.2.3 Karakteristik Digitalisasi Manual

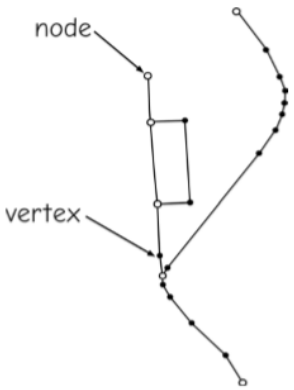
Digitalisasi manual, baik dari gambar digital di layar atau dari sumber hardcopy, adalah hal biasa karena menyediakan data yang cukup akurat untuk banyak, jika tidak sebagian besar, aplikasi. Digitalisasi manual mungkin setidaknya merupakan akurasi dari sebagian besar peta atau gambar, sehingga peralatan, jika digunakan dengan benar, tidak menambah kesalahan yang substansial. Digitalisasi manual juga membutuhkan investasi peralatan yang rendah, seringkali hanya perangkat lunak untuk tampilan gambar dan pengambilan koordinat. Kemampuan manusia untuk menafsirkan gambar atau peta hardcopy dalam kondisi buruk adalah manfaat unik dan penting dari digitalisasi manual. Manusia biasanya lebih baik daripada mesin dalam menafsirkan informasi yang terdapat pada peta dan gambar yang pudar, bernoda, atau berkualitas buruk. Terakhir, digitalisasi manual sering kali paling baik karena diperlukan periode pelatihan yang singkat, kualitas data mungkin sering dievaluasi, dan peralatan digitalisasi biasanya tersedia. Karena alasan ini, digitalisasi manual kemungkinan besar akan tetap menjadi metode entri data yang penting untuk beberapa waktu mendatang.

Ada sejumlah karakteristik digitalisasi manual yang dapat berdampak negatif pada kualitas posisi data spasial. Seperti disebutkan sebelumnya, skala dan resolusi peta atau gambar berdampak pada akurasi spasial data digital. Skala ini mungkin skala produksi untuk peta hardcopy, atau skala tampilan untuk gambar digital atau peta yang dipindai. Tabel digitalisasi mengilustrasikan pengaruh skala peta terhadap kualitas data. Kesalahan 1 milimeter (0,039 in) pada peta skala 1: 24.000 setara dengan 24 meter (79 kaki) di permukaan bumi. Kesalahan 1 milimeter yang sama pada peta skala 1: 1.000.000 sama dengan 1000 meter (3281 kaki) di permukaan bumi. Dengan demikian, kesalahan kecil dalam produksi atau interpretasi peta dapat menyebabkan kesalahan posisi yang signifikan saat diskalakan ke jarak di Bumi, dan kesalahan ini lebih besar untuk peta skala kecil. Kesalahan karena kemampuan menunjuk manusia dikurangi untuk digitalisasi pada layar, karena operator dapat memperbesar skala sesuai kebutuhan. Namun, ini tidak mengatasi kesalahan yang melekat pada gambar asli atau dokumen yang dipindai.

Ketepatan perangkat dan skala peta harus dipertimbangkan saat memilih tablet digitalisasi. Skala peta dan pengulangan keduanya menetapkan batas atas pada kualitas posisi data digital. Digitizer yang paling tepat mungkin diperlukan saat mencoba memenuhi standar kesalahan yang ketat saat mendigitalkan peta skala kecil.

Kemampuan dan sikap orang yang melakukan digitalisasi mempengaruhi kualitas geometrik dari data yang didigitasi secara manual. Operator berbeda dalam ketajaman visual, kemantapan tangan, perhatian terhadap detail, dan kemampuan untuk berkonsentrasi. Kemampuan operator tunggal mana pun juga akan bervariasi seiring waktu, karena kelelahan atau kesulitan mempertahankan fokus pada tugas yang berulang. Operator harus sering mengambil jeda dari digitalisasi, dan perbandingan di antara operator dan pemeriksaan kualitas dan konsistensi harus diintegrasikan ke dalam proses digitalisasi manual untuk memastikan pengumpulan data yang akurat dan konsisten.

Kesalahan gabungan dari operator dan peralatan telah dikarakterisasi dengan baik dan mungkin cukup kecil. Satu pengujian menggunakan tabel dijitasi presisi tinggi mengungkapkan kesalahan digitizing rata-rata sekitar 0,067 mm. Kesalahan mengikuti distribusi normal acak, dan bervariasi secara signifikan di antara operator. Kesalahan rata-rata ini diterjemahkan menjadi kesalahan sekitar 1,6 meter ketika diskalakan dari peta 1: 24.000 ke jarak yang setara dengan permukaan tanah. Kesalahan rata-rata ini lebih kecil dari kesalahan produksi yang dapat diterima untuk peta, dan cocok untuk banyak analisis spasial.



Gambar 4.9 : Node menentukan titik awal dan akhir garis. Vertex menentukan bentuk garis.

4.2.4 Proses Digitalisasi

Digitalisasi manual melibatkan menampilkan gambar digital di layar atau menempatkan peta pada permukaan digitalisasi, dan menelusuri lokasi batas fitur. Data koordinat diambil sampelnya dengan memposisikan keping atau kursor secara manual di atas setiap titik target dan mengumpulkan lokasi koordinat. Langkah posisi / pengambilan ini diulangi untuk setiap titik yang akan ditangkap, dan dengan cara ini lokasi dan bentuk dari semua fitur peta yang diperlukan ditentukan. Fitur yang dilihat sebagai titik diwakili dengan mendigitalkan satu lokasi. Garis direpresentasikan dengan mendigitalkan kumpulan titik yang terurut, dan poligon dengan mendigitalkan kumpulan garis yang terhubung. Garis memiliki titik awal, sering disebut simpul awal, sekumpulan simpul yang mendefinisikan bentuk garis, dan simpul akhir. Oleh karena itu, garis dapat dilihat sebagai rangkaian segmen garis lurus yang menghubungkan simpul dan simpul.

Digitalisasi mungkin dalam mode titik, di mana operator harus menekan tombol atau memberi sinyal ke komputer untuk mengambil sampel setiap titik, atau dalam mode aliran, di mana titik-titik secara otomatis diambil sampelnya pada frekuensi waktu atau jarak yang tetap, mungkin sekali setiap meter. Modus aliran membantu ketika sejumlah besar garis didigitalkan, karena simpul dapat diambil sampelnya lebih cepat dan operator mungkin menjadi tidak terlalu lelah.

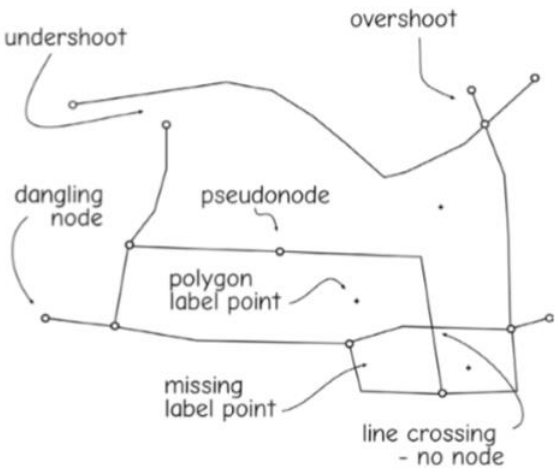
Tingkat pengambilan sampel aliran harus ditentukan dengan hati-hati untuk menghindari garis sampel berlebih atau kurang. Interval pengumpulan yang terlalu pendek menyebabkan titik-titik yang berlebihan tidak diperlukan untuk merepresentasikan bentuk garis atau poligon secara akurat. Interval pengumpulan yang terlalu lama dapat mengakibatkan hilangnya detail spasial yang penting. Selain itu, saat menggunakan digitalisasi aliran yang dipicu oleh waktu, operator harus ingat untuk terus memindahkan puck digitalisasi; jika operator mengistirahatkan puck digitasi untuk periode yang lebih lama dari interval pengambilan sampel, akan ada beberapa titik yang dikelompokkan bersama. Ini akan merepresentasikan bagian dari garis secara berlebihan dan dapat mengakibatkan segmen yang tumpang tindih. Menjeda untuk waktu yang lama sering kali menciptakan "sarang tikus" dari garis-garis yang nantinya harus dihilangkan.

Digitalisasi jarak minimum adalah varian dari digitalisasi mode aliran yang menghindari beberapa masalah yang melekat pada streaming dengan sampel waktu. Dalam jarak minimum, mendigitasi titik baru tidak dicatat kecuali jika lebih dari beberapa jarak ambang minimum dari titik yang sebelumnya didigitalisasi. Operator dapat menjeda tanpa membuat sarang tikus dari segmen garis. Ambang batas harus dipilih dengan hati-hati - tidak terlalu besar, detail berguna yang hilang, atau terlalu kecil, yang pada dasarnya kembali ke digitalisasi streaming

4.2.5 Digitalisasi Error, Node dan Line Snapping

Kesalahan posisi tidak dapat dihindari ketika data diubah menjadi digital secara manual. Kesalahan ini mungkin "kecil" relatif terhadap tujuan penggunaan data; misalnya, kesalahan posisi mungkin kurang dari 2 meter jika hanya membutuhkan akurasi 5 meter. Namun, kesalahan yang relatif kecil ini masih dapat mencegah pembuatan jaringan atau poligon yang benar. Misalnya, layer data yang mewakili sistem sungai mungkin tidak benar karena anak sungai utama mungkin tidak terhubung. Fitur poligon mungkin tidak ditentukan dengan benar karena batasnya mungkin tidak sepenuhnya tertutup. Kesalahan kecil ini harus dihilangkan

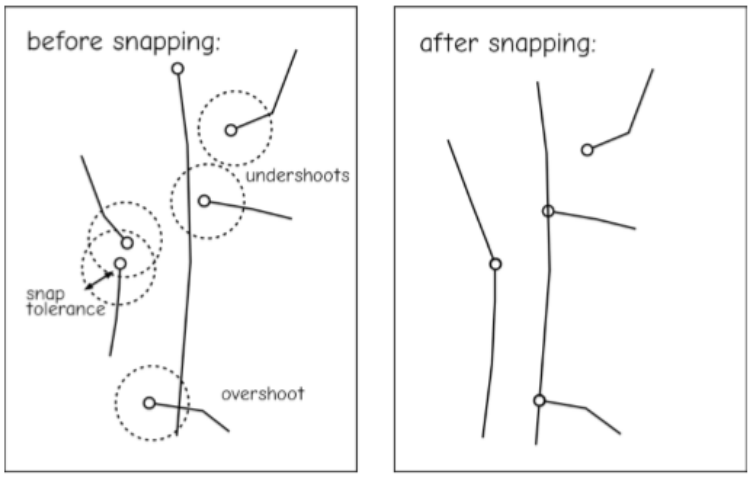
atau dihindari selama digitalisasi. Gambar dibawah menunjukkan beberapa kesalahan digitalisasi yang umum.



Gambar 4.10 : Kesalahan digitalisasi yang umum

Undershoots dan overshoots adalah kesalahan umum yang terjadi saat dijitasi. Undershoots adalah node yang tidak cukup mencapai garis atau node lain, dan overshoots adalah garis yang melintasi node atau garis yang ada. Gempa bawah menyebabkan jaringan tidak terhubung dan poligon tidak tertutup. Overshoot biasanya tidak menimbulkan masalah saat mendefinisikan poligon, tetapi dapat menyebabkan kesulitan saat menentukan dan menganalisis jaringan garis.

Node snapping dan line snapping digunakan untuk mengurangi undershoot dan overshoot saat digitalisasi. Snapping adalah proses secara otomatis mengatur titik-titik terdekat agar memiliki koordinat yang sama. Pengambilan gambar bergantung pada toleransi jepret atau jarak jepret. Jarak ini dapat diartikan sebagai jarak minimum antar fitur. Simpul atau simpul yang lebih dekat dari jarak ini dipindahkan untuk menempati lokasi yang sama. Gertakan node mencegah node baru ditempatkan dalam jarak snap dari node yang sudah ada; sebagai gantinya, node baru digabungkan atau "di-snap" ke node yang sudah ada. Ingatlah bahwa node digunakan untuk menentukan titik akhir dari sebuah garis. Dengan menggabungkan dua node bersama-sama, kami memastikan koneksi antara garis-garis digital. Gertakan garis, kadang-kadang disebut gertakan tepi, juga dapat ditentukan.



Gambar 4.11 : Undershoots, overshoots, dan snapping. Snapping dapat bergabung dengan node, atau dapat menempatkan node ke segmen garis terdekat. Snapping tidak terjadi jika node dan / atau garis dipisahkan oleh lebih dari toleransi snap.

Line snapping menyisipkan sebuah node pada sebuah garis persimpangan dan memotong ujungnya ketika sebuah overshoot kecil didigitalkan. Gertakan garis memaksa sebuah node untuk terhubung ke garis terdekat saat digitasi, tetapi hanya ketika undershoot atau overshoot kurang dari jarak snapping. Pengambilan garis membutuhkan perhitungan titik perpotongan pada garis yang sudah ada. Proses snap menempatkan node baru pada titik potong, dan menghubungkan garis digital ke garis yang sudah ada pada titik potong tersebut.

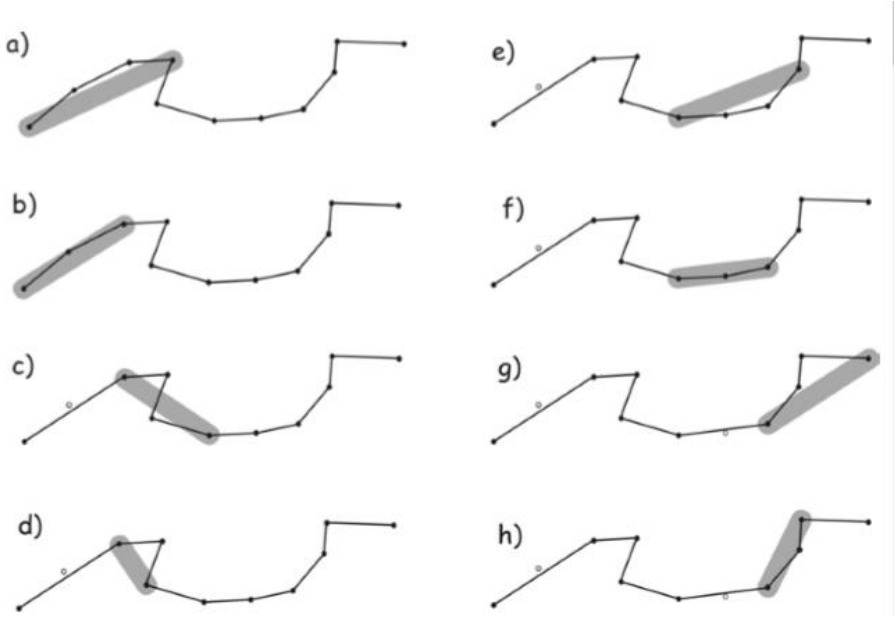
Ini membagi baris yang ada menjadi dua baris baru. Bila digunakan dengan benar, gertakan garis dan simpul mengurangi jumlah undershoot dan overshoot. Poligon tertutup atau garis berpotongan lebih mudah untuk didigitalkan secara akurat dan efisien saat gertakan node dan garis berlaku.

Jarak jepret harus dipilih dengan hati-hati agar gertakan menjadi efektif. Jika jarak jepret terlalu pendek, maka jepretan berdampak kecil. Pertimbangkan sistem di mana operator dapat mendigitalkan dengan akurasi lebih baik dari 5 meter hanya 10% dari waktu. Ini berarti 90% dari titik digital akan berada lebih dari 5 meter dari lokasi yang dimaksudkan. Jika toleransi jepret diatur ke ekuivalen 0,1 meter, maka sangat sedikit node yang akan berada dalam toleransi jepret, dan gertakan memiliki sedikit efek. Masalah lain datang dari pengaturan toleransi jepret yang terlalu besar. Jika toleransi jepretan dalam contoh kita sebelumnya diatur ke 10 meter, dan kita ingin datanya akurat hingga 5 meter terdekat, maka kita mungkin kehilangan informasi spasial signifikan yang terdapat dalam peta hardcopy. Garis dengan jarak kurang dari 10 meter tidak dapat didigitasi sebagai objek terpisah. Banyak fitur mungkin tidak direpresentasikan dalam layer data digital. Jarak jepret harus lebih kecil dari keakuratan posisi yang diinginkan, sehingga detail penting yang terkandung dalam peta digital dicatat. Juga penting bahwa jarak jepret tidak di bawah kemampuan sistem yang digunakan untuk digitalisasi. Pemilihan jarak jepret yang cermat dapat mengurangi kesalahan digitalisasi dan secara signifikan mengurangi waktu yang diperlukan untuk pengeditan nanti.

4.2.6 Reshaping : Line Smoothing dan Thinning

Perangkat lunak digitalisasi dapat menyediakan alat untuk menghaluskan, memadatkan, atau mengurangi titik saat memasukkan data. Salah satu teknik umum menggunakan fungsi spline untuk menginterpolasi kurva antara titik-titik digital dengan lancar dan dengan demikian menghaluskan dan memadatkan himpunan simpul yang digunakan untuk mewakili garis. Spline adalah himpunan fungsi polinomial yang bergabung dengan mulus. Fungsi polinomial cocok untuk kumpulan titik yang berurutan di sepanjang simpul dalam satu garis; misalnya, suatu fungsi mungkin cocok untuk poin 1 sampai 5, dan fungsi polinomial yang terpisah cocok untuk poin 5 sampai 11. Batasan memaksa fungsi-fungsi ini untuk terhubung dengan mulus, biasanya dengan meminta turunan pertama dan kedua dari fungsi tersebut bersambung di titik persimpangan. Ini berarti garis-garis memiliki kemiringan yang sama di titik persimpangan, dan kemiringannya berubah pada tingkat yang sama untuk kedua garis di titik persimpangan. Setelah fungsi spline dihitung, mereka dapat digunakan untuk menambahkan simpul. Misalnya, beberapa simpul baru dapat secara otomatis ditempatkan pada garis antara simpul digital 8 dan 9, yang mengarah ke kurva “mulus”.

Data juga dapat didigitalkan dengan terlalu banyak simpul. Kepadatan tinggi dapat terjadi ketika data secara manual didigitalkan dalam mode aliran, dan operator bergerak perlahan relatif terhadap interval waktu. Kepadatan titik tinggi juga dapat ditemukan jika data berasal dari fungsi spline atau penghalusan yang menentukan kerapatan titik yang terlalu tinggi. Akhirnya, pemindaian otomatis dan kemudian konversi raster-ke-vektor dapat menghasilkan pasangan koordinat yang ditempatkan pada kepadatan yang sangat tinggi. Banyak dari data koordinat ini berlebihan dan dapat dihapus tanpa mengorbankan akurasi spasial. Terlalu banyak simpul mungkin menjadi masalah karena memperlambat pemrosesan, meskipun hal ini menjadi kurang penting karena daya komputasi meningkat. Algoritme penipisan titik telah dikembangkan untuk mengurangi jumlah titik dengan tetap mempertahankan bentuk garis.



Gambar 4.12 : Algoritma Lang adalah metode penipisan garis yang umum. Dalam metode Lang, simpul dihilangkan, atau ditipiskan, ketika mereka berada dalam jarak gulma ke garis rentang (diadaptasi dari Weibel, 1997).

Banyak metode penipisan titik menggunakan jarak “gulma” tegak lurus, diukur dari garis rentang, untuk mengidentifikasi titik yang berlebihan. Metode Lang mencontohkan pendekatan ini. Garis merentang menghubungkan dua simpul yang tidak berdekatan dalam satu garis. Jumlah simpul yang telah ditentukan direntang pada awalnya. Nomor rentang awal telah ditetapkan ke 4 pada gambar yang berarti empat titik akan dipertimbangkan pada setiap titik awal. Area yang lebih dekat dari jarak gulma ditampilkan dalam warna abu-abu pada gambar. Sebuah garis lurus dibuat antara titik awal dan titik akhir yaitu titik keempat di bawah garis (Gambar a). Setiap titik antara yang lebih dekat dari jarak gulma ditandai untuk dibuang. Pada Gambar a, tidak ada titik yang berada dalam jarak gulma, oleh karena itu tidak ada yang ditandai. Titik akhir kemudian dipindahkan ke titik terdekat berikutnya yang tersisa (Gambar b), dan semua titik tengah diuji untuk dihilangkan. Sekali lagi, setiap titik yang lebih dekat dari jarak gulma ditandai untuk dihilangkan, ditunjukkan sebagai lingkaran terbuka pada Gambar. Perhatikan bahwa pada Gambar b, satu titik berada dalam jarak gulma, dan dibuang. Setelah semua titik pada jarak rentang awal diperiksa, titik akhir terakhir yang tersisa menjadi titik awal baru, dan garis rentang baru ditarik untuk menghubungkan 4 titik (Gambar c, d).

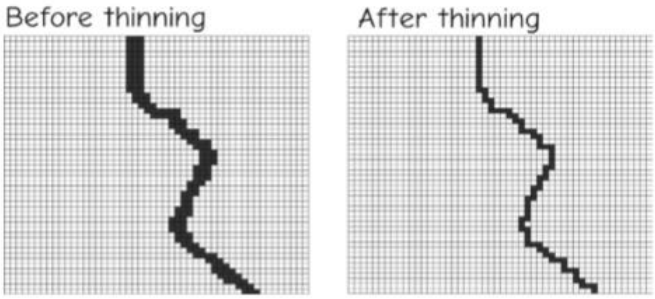
Proses ini dapat diulang untuk rangkaian titik yang berurutan dalam segmen garis sampai semua simpul telah dievaluasi (Gambar e hingga h). Semua simpul dekat dipandang tidak merekam perubahan signifikan dalam bentuk garis, dan karenanya dapat dibuang. Meningkatkan jarak gulma menipiskan lebih banyak simpul, dan pada beberapa jarak gulma atas terlalu banyak simpul dapat dihilangkan. Keseimbangan harus dicapai antara penghilangan simpul yang berlebihan dan hilangnya titik-titik yang menentukan bentuk, biasanya melalui serangkaian kasus uji yang cermat dengan jarak gulma yang lebih besar secara berturut-turut.

Konsep dasar ini memiliki banyak varian. Beberapa hanya melihat pada tiga titik yang berdekatan, menguji titik tengah terhadap garis yang direntang oleh dua titik tetangganya. Yang lain membatasi atau memperluas pencarian berdasarkan kompleksitas garis. Daripada selalu melihat empat titik, seperti dalam contoh kita di atas, lebih banyak titik yang diteliti saat garisnya tidak rumit (hampir lurus), dan lebih sedikit saat garisnya rumit (banyak perubahan arah).

4.2.7 Scan (Pemindaian) Digitalisasi

Pemindaian optik adalah metode lain untuk mengubah dokumen hardcopy ke dalam format digital. Pemindai memiliki elemen yang memancarkan dan merasakan cahaya. Kebanyakan pemindai meneruskan elemen penginderaan di atas peta yang diterangi. Perangkat ini mengukur lokasi tepat dari titik yang dirasakan dan kekuatan cahaya yang dipantulkan atau ditransmisikan dari titik itu. Intensitas cahaya yang dipantulkan dirasakan dan diubah menjadi angka.

Ambang batas yang dapat disesuaikan sering diterapkan untuk menentukan apakah titik penginderaan adalah bagian dari suatu fitur. Misalnya, peta mungkin terdiri dari garis-garis gelap dengan latar belakang putih. Ambang batas dapat diatur sedemikian rupa sehingga jika kurang dari 10% cahaya yang mengenai peta dikembalikan ke sensor, titik penginderaan dianggap sebagai bagian dari garis. Jika 10% atau lebih energi dipantulkan kembali ke sensor, titik dianggap sebagai bagian dari ruang putih di antara garis. Pemindai kemudian menghasilkan representasi raster dari peta. Nilai dicatat di mana titik atau garis ada di peta dan nilai nol atau nol dicatat di ruang intervening.



Gambar 4.13 : Skeletonizing, suatu bentuk penipisan garis yang sering diterapkan setelah pemindaian digitalisasi.

Pemindai bekerja paling baik bila tersedia peta yang sangat bersih. Bahkan pemindai yang paling mahal pun dapat melaporkan sejumlah besar garis atau titik palsu saat peta tua, bertanda, terlipat, atau kusut digunakan. Fitur palsu ini kemudian harus dihilangkan melalui

pengeditan manual, sehingga meniadakan keunggulan kecepatan pemindaian daripada digitalisasi manual. Pemindaian juga berfungsi paling baik saat peta tersedia saat peta terpisah, dengan satu jenis fitur tematik di setiap peta. Pengeditan membutuhkan waktu lebih sedikit jika peta tidak berisi tulisan atau anotasi lainnya.

Digitalisasi pemindaian biasanya memerlukan beberapa bentuk kerangka, atau penipisan garis, terutama jika data akan dikonversi ke format data vektor. Garis yang terpindai seringkali lebih lebar dari satu piksel. Salah satu dari beberapa piksel dapat dipilih untuk menentukan posisi bagian garis tertentu. Hal yang sama berlaku untuk poin. Sebuah piksel di dekat "pusat" dari titik atau garis biasanya dipilih, dengan pusat garis didefinisikan sebagai piksel yang terdekat dengan pusat garis-garis tegak lurus lokal. Skeletonizing mengurangi lebar garis atau titik menjadi satu piksel.

Mengedit Data Geografis

Data spasial dapat diedit, atau diubah, karena beberapa alasan. Kesalahan dan inkonsistensi pasti muncul selama entri data spasial. Undershoot, overshoots, garis yang hilang atau ekstra, dan poin atau label yang hilang atau ekstra adalah semua kesalahan yang harus diperbaiki. Data spasial dapat berubah seiring waktu. Paket dibagi, jalan diperpanjang atau dipindahkan, hutan tumbuh atau ditebang, dan perubahan ini dapat dimasukkan ke dalam database spasial

melalui pengeditan. Teknologi baru dapat dikembangkan untuk memberikan informasi posisi yang lebih akurat, dan meskipun data yang ada mungkin konsisten dan terkini, data yang lebih akurat mungkin lebih berguna, yang mengarah pada pengeditan data.

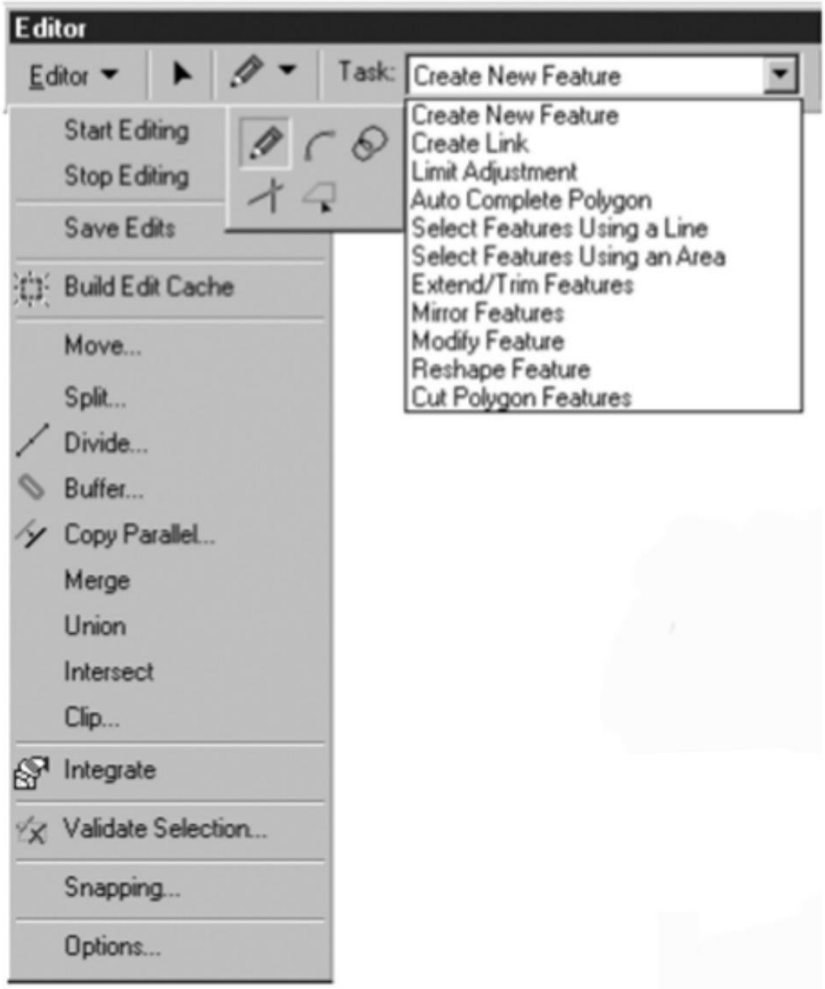
Mengidentifikasi kesalahan adalah langkah pertama dalam pengeditan. Kesalahan dapat diidentifikasi dengan mencetak peta dari data digital dan memverifikasi bahwa setiap fitur titik, garis, dan area ada dan ditempatkan dengan benar. Plot sering dicetak pada skala yang sama dan pada skala yang jauh lebih besar daripada bahan sumber aslinya. Plot skala besar sering kali diberi panel dengan beberapa tumpang tindih di antara panel. Plot pada skala sangat membantu untuk mengidentifikasi fitur yang hilang, dan plot skala besar membantu mengidentifikasi undershoot, overshoot, dan kelalaian atau penambahan kecil. Operator biasanya memberi anotasi pada plot ini karena mereka diperiksa secara sistematis untuk setiap fitur.

Perangkat lunak membantu operator mengidentifikasi potensi kesalahan. Fitur garis biasanya dimulai dan diakhiri dengan sebuah node, dan node dapat diklasifikasikan sebagai penghubung atau menggantung. Sebuah simpul penghubung menggabungkan dua atau lebih garis, sedangkan simpul yang menjuntai dilampirkan hanya pada satu garis. Beberapa node yang menggantung mungkin disengaja, misalnya, jalan buntu di jaringan jalan, sementara yang lain akan menjadi hasil under- atau overshoot. Simpul yang menggantung yang diplot dengan simbol unik dapat dengan cepat dievaluasi dan, jika sesuai, diperbaiki

Konsistensi atribut juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi kesalahan. Operator mencatat area di mana jenis tema yang kontradiktif terjadi di layer data yang berbeda. Kedua layer tersebut tumpang tindih secara grafis atau kartografis. Peristiwa bersama yang kontradiktif teridentifikasi, seperti air di satu layer dan daerah dataran tinggi di layer kedua. Kontradiksi ini kemudian diselesaikan secara manual, atau secara otomatis melalui beberapa hierarki prioritas yang telah ditentukan sebelumnya.

Banyak paket perangkat lunak GIS menyediakan seperangkat alat pengeditan yang lengkap. Pengeditan biasanya mencakup kemampuan untuk memilih, memisahkan, memperbarui, dan menambahkan fitur. Pemilihan mungkin didasarkan pada atribut geometris, atau dengan kursor yang dipandu oleh operator. Pemilihan dapat dilakukan secara individual, berdasarkan luas geografis (pilih semua fitur dalam kotak, lingkaran, atau dalam jarak tertentu dari penunjuk), atau dengan atribut geometris (misalnya, pilih semua node yang terhubung ke hanya satu baris). Setelah fitur dipilih, berbagai operasi mungkin tersedia, termasuk menghapus semua atau sebagian fitur, mengubah nilai koordinat yang mendefinisikan fitur, dan dalam kasus garis, memisahkan atau menambah fitur. Sebuah garis dapat dipecah menjadi beberapa bagian, baik untuk mengisolasi segmen untuk dihapus di masa mendatang, atau untuk mengubah hanya sebagian dari garis tersebut. Koordinat biasanya diubah dengan memilih dan menyeret titik, simpul, atau simpul ke bentuk dan lokasi terbaiknya secara interaktif. Titik atau segmen garis ditambahkan sesuai kebutuhan.

Sekelompok fitur di suatu area dapat disesuaikan melalui lembaran karet interaktif. Rubbersheeting melibatkan penyesuaian rumus lokal untuk menyesuaikan koordinat fitur. Rumus polinomial sering digunakan karena fleksibilitas dan kemudahan aplikasinya.



Gambar 4.14: Perangkat lunak GIS menyediakan seperangkat alat pengeditan yang fleksibel dan lengkap. Alat-alat ini menyediakan pembuatan dan modifikasi koordinat dan atribut data spasial yang cepat, tepat, terkontrol (milik ESRI).

Titik jangkar dipilih, sekali lagi pada layar grafik, dan titik lainnya dipilih dengan menyeret secara interaktif pada layar untuk mencocokkan lokasi titik.

Semua garis dan titik kecuali titik jangkar disesuaikan secara interaktif. Semua pengeditan harus dilakukan dengan memperhatikan pergeseran jarak selama pengeditan. Pengeditan pada layar untuk menghilangkan undershoot sebaiknya hanya dilakukan ketika lokasi fitur yang "sebenarnya" dapat diidentifikasi secara akurat, dan fitur baru dapat ditempatkan dengan percaya diri di lokasi yang benar. Penghapusan otomatis undershoot "pendek" dapat dilakukan tanpa menimbulkan kesalahan spasial tambahan dalam banyak kasus. Jarak pendek untuk undershoot didefinisikan secara subyektif, tetapi biasanya berada di bawah kesalahan yang melekat pada peta sumber, atau setidaknya jarak yang tidak signifikan ketika mempertimbangkan tujuan penggunaan data spasial.

4.2.10 Fitur Umum Untuk Beberapa Layer

Satu masalah umum dalam digitalisasi berasal dari representasi fitur yang terjadi pada peta atau gambar yang berbeda. Fitur-fitur ini jarang memiliki lokasi yang identik pada setiap peta atau gambar, dan sering muncul di lokasi yang berbeda ketika didigitasi ke dalam layer datanya masing-masing. Sebagai contoh, batas air pada peta survei tanah jarang sama persis dengan batas air yang ditemukan pada peta topografi USGS.

Fitur mungkin tampak berbeda pada peta yang berbeda karena berbagai alasan. Mungkin peta dibuat untuk tujuan yang berbeda atau pada waktu yang berbeda. Fitur mungkin berbeda karena peta berasal dari bahan sumber yang berbeda; misalnya, satu peta mungkin didasarkan pada survei darat sementara yang lain didasarkan pada foto udara. Digitalisasi juga dapat memperparah masalah karena perbedaan dalam metode atau operator digitalisasi.

Ada beberapa cara untuk menghilangkan ketidakkonsistenan "fitur umum" ini. Salah satunya melibatkan penghapusan inkonsistensi saat menyusun ulang data dari sumber yang bertentangan ke peta dasar baru. Penyusunan ulang membutuhkan banyak tenaga dan waktu, tetapi memaksa penyelesaian lokasi batas yang tidak konsisten. Pembuatan ulang juga memungkinkan beberapa peta digabungkan menjadi satu layer data.

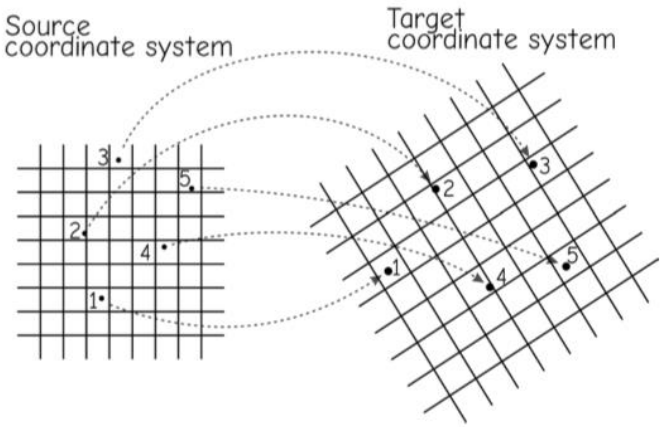
Metode kedua, yang seringkali lebih disukai, melibatkan penetapan batas "master" yang merupakan gabungan akurasi tertinggi dari kumpulan data yang tersedia. Salinan digital atau operasi overlay menetapkan fitur umum sebagai basis di semua layer data, dan basis ini dapat digunakan saat setiap layer baru diproduksi. Misalnya, batas air dapat diambil dari survei tanah dan peta USGS quad dan data ini digabungkan dalam layer data ketiga. Layer data ketiga akan diedit untuk menghasilkan komposit layer air berkualitas tinggi. Layer air komposit kemudian akan disalin kembali ke dalam tanah dan layer quad USGS. Pendekatan kedua ini, meskipun menghasilkan layer data spasial yang konsisten secara visual, dalam banyak hal hanyalah perbaikan kosmetik dari data tersebut. Jika ada perbedaan besar (“besar” didefinisikan relatif terhadap akurasi data spasial yang diperlukan), maka sumber perbedaan harus diidentifikasi dan data yang paling akurat digunakan, atau data baru dengan akurasi lebih tinggi yang dikumpulkan dari lapangan atau sumber asli.

4.3 Transformasi Koordinat

Transformasi koordinat adalah operasi umum dalam pengembangan data spasial untuk GIS. Transformasi koordinat membawa data spasial ke dalam sistem koordinat peta berbasis Bumi

sehingga setiap layer data sejajar dengan setiap layer data lainnya. Penjajaran ini memastikan fitur berada pada posisi relatif yang tepat saat data digital dari berbagai layer digabungkan. Dalam batas keakuratan data, transformasi yang baik membantu menghindari hubungan spasial yang tidak konsisten seperti ladang pertanian di jalan raya, jalan di bawah air, atau kota di tengah rawa, kecuali jika hal tersebut benar-benar ada. Transformasi koordinat juga disebut sebagai registrasi, karena ia “mendaftarkan” layer ke sistem koordinat peta.

Transformasi koordinat paling umum digunakan untuk mengubah data digital baru dari sistem koordinat digitizer / pemindai menjadi sistem koordinat peta standar. Sistem koordinat masukan biasanya didasarkan pada digitizer atau nilai yang ditetapkan pemindai. Gambar mungkin dipindai dan koordinat direkam sebagai kursor digerakkan melintasi permukaan gambar. Koordinat ini biasanya direkam dalam satuan piksel, inci, atau sentimeter relatif terhadap titik asal yang terletak di dekat sudut kiri bawah gambar. Nilai absolut dari koordinat bergantung pada tempat gambar diletakkan di atas tabel sebelum pemindaian, tetapi posisi relatif dari titik-titik digital tidak berubah. Sebelum data digital baru ini dapat digunakan dengan data lain, koordinat "ruang inci" atau "digitizer" ini harus diubah menjadi sistem koordinat peta berbasis Bumi.

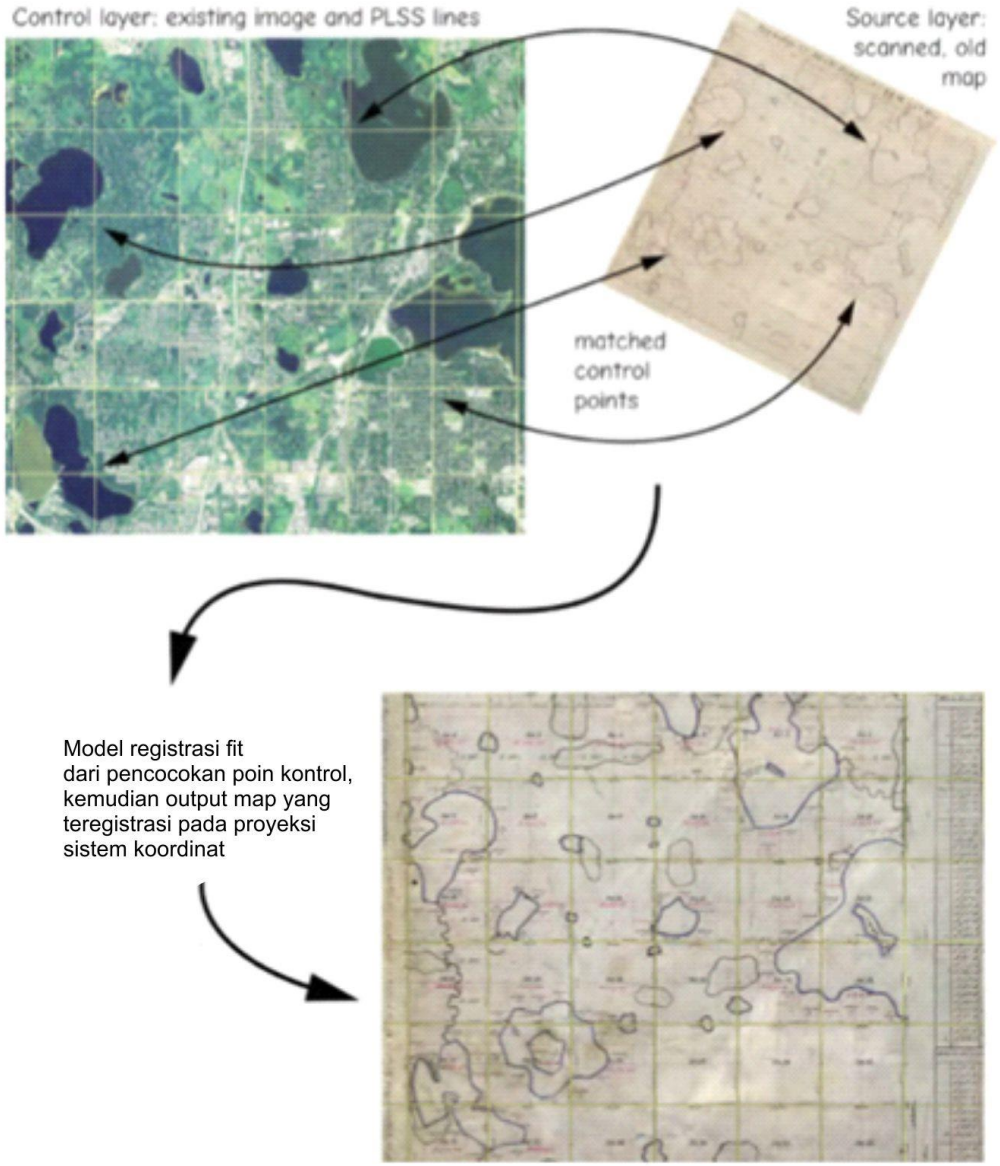


Gambar 4.15: Mengontrol poin dalam transformasi koordinat. Titik kontrol digunakan untuk memandu transformasi sumber, memasukkan kumpulan koordinat ke target, kumpulan koordinat output. Ada lima titik kendali dalam contoh ini. Posisi yang sesuai ditampilkan di kedua sistem koordinat.

Gambar 4.16 menggambarkan penerapan transformasi koordinat dalam pengembangan data. Survei awal sering kali disimpan di peta kertas, dalam hal ini survei PLSS asli. Ini menggambarkan garis batas PLSS asli, serta danau dan lahan basah, dan dalam beberapa contoh hutan, padang rumput, atau fitur lainnya. Kita mungkin ingin membandingkan kondisi masa lalu dan saat ini, tetapi PLSS adalah sistem pembagian tanah, tanpa koordinat atau proyeksi yang terkait dengannya. Kita perlu mendaftarkan peta kertas ke sistem koordinat yang diproyeksikan sebelum digunakan.

Persimpangan garis PLSS dapat digunakan untuk mendaftarkan peta asli ke sistem koordinat yang diproyeksikan. JalurPLSS sering menjadi batas properti, dan jalan berikutnya sering mengikuti batas ini. Sebuah jalan antar properti berbagi pembebanan di antara pemilik properti, dan melayani beberapa properti yang berdekatan. Persimpangan jalan sering terjadi di sudut-sudut PLSS. Persimpangan garis bagian dapat disurvei secara langsung, atau diekstraksi dari data terdaftar lainnya seperti gambar udara, dan karenanya digunakan untuk

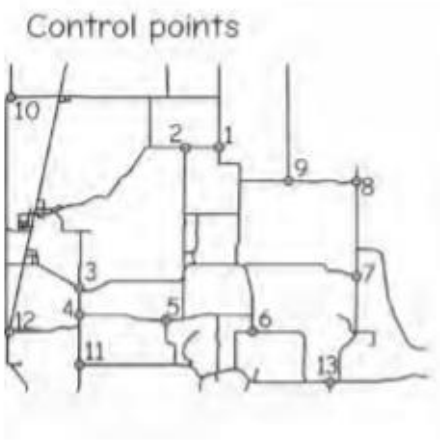
mengubah, peta asli menjadi sistem koordinat yang diproyeksikan. Fitur pada peta asli, seperti danau atau lahan basah yang digambarkan pada saat survei asli selama tahun 1800-an, dapat didigitalisasi dan dibandingkan dengan lokasi fitur saat ini.



Gambar 4.16: Transformasi koordinat melibatkan pencocokan titik kontrol dari layer yang diketahui ke target, dan memperkirakan kemudian menerapkan model transformasi.

4.3.1 Titik Kontrol (Control Point)

Satu set titik kontrol digunakan untuk mengubah data digital dari digitizer atau sistem koordinat foto menjadi sistem koordinat proyeksi peta. Titik kontrol ini digunakan untuk memperkirakan rumus yang kami gunakan untuk transformasi koordinat. Titik kontrol berbeda dari fitur digital lainnya. Saat kami mendigitalkan sebagian besar titik, garis, atau area, kami tidak mengetahui koordinat proyeksi peta untuk fitur-fitur ini. Kami hanya mengumpulkan koordinat digitizer x dan y yang dibuat dengan mengacu pada beberapa asal arbitrer pada gambar atau tabel digitalisasi. Titik kontrol berbeda dari titik digital lainnya karena kita mengetahui koordinat proyeksi peta dan koordinat digitizer untuk titik-titik ini.



Digitizer coordinates			Projection coordinates (UTM)	
ID	X	Y	E	N
1	103.0	-100.1	500,083.4	5,003,683.5
2	0.8	-69.1	504,092.3	5,002,499.5
3	-20.0	-69.0	504,907.5	5,002,499.5
4	-60.0	-47.0	506,493.3	5,001,673.5
5	-102.0	-47.2	508,101.3	5,001,651.7
6	-101.7	10.8	508,090.1	4,999,384.0
7	-86.0	75.8	507,475.9	4,996,849.0
8	-40.0	45.7	505,689.2	4,998,022.0
9	11.0	36.8	503,679.2	4,998,368.0
10	63.0	34.0	501,657.9	4,998,479.5
11	63.0	17.7	501,669.1	4,999,116.0
12	63.0	64.3	501,680.3	4,997,296.0
13	106.0	47.7	500,005.3	4,997,943.5

Gambar 4.17 : Contoh lokasi titik kontrol dari layer data jalan, dan digitizer yang sesuai dan koordinat proyeksi peta.

Dua set koordinat ini untuk setiap titik kontrol, satu untuk proyeksi peta dan satu untuk sistem digitizer, digunakan untuk memperkirakan koefisien rumus transformasi, biasanya melalui proses statistik, kuadrat terkecil. Rumus transformasi kemudian digunakan untuk mengubah koordinat dari sistem digitizer menjadi sistem proyeksi peta.

Transformasi dapat diperkirakan dalam langkah-langkah digitasi awal, dan diterapkan saat koordinat didigitasi dari peta atau gambar. Transformasi “on-the-fly” ini memungkinkan data menjadi output dan dianalisis dengan mengacu pada koordinat yang diproyeksikan peta. Layer data atau gambar yang telah didaftarkan sebelumnya dapat ditampilkan di layar sebelum mendigitalkan peta baru. Titik kontrol kemudian dapat dimasukkan, peta baru dilampirkan pada tabel digitasi, dan peta didaftarkan. Data baru kemudian dapat ditampilkan di atas data yang terdaftar sebelumnya. Hal ini memungkinkan pemeriksaan cepat pada lokasi objek yang baru didigitalisasi terhadap objek yang sesuai di area studi.

Berbeda dengan transformasi on-the-fly, data juga dapat direkam dalam koordinat digitizer dan transformasi diterapkan kemudian. Semua data digital, termasuk lokasi titik kontrol. Koordinat digitizer dari titik kontrol kemudian dapat dicocokkan dengan koordinat proyeksi peta yang sesuai, dan rumus transformasi diperkirakan. Rumus transformasi ini kemudian diterapkan untuk mengubah semua data digital menjadi koordinat proyeksi peta.

Titik kontrol harus memenuhi atau melampaui beberapa kriteria. Pertama, titik kontrol harus dari sumber yang memberikan akurasi koordinat tertinggi yang memungkinkan. Kedua, akurasi titik kontrol harus setidaknya sebaik akurasi posisi keseluruhan yang diinginkan yang diperlukan untuk data spasial. Ketiga, titik kontrol harus didistribusikan secara merata di seluruh area data. Jumlah titik kontrol yang cukup harus dikumpulkan. Jumlah minimum poin tergantung pada bentuk matematika dari transformasi, tetapi poin kontrol tambahan di atas jumlah minimum biasanya dikumpulkan; ini biasanya meningkatkan kualitas dan akurasi fungsi transformasi yang sesuai secara statistik.

Koordinat x, y (horizontal), dan terkadang z (vertikal atau elevasi) dari titik kontrol diketahui memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi. Karena presisi dan akurasi tinggi ditentukan secara subjektif, ada banyak metode untuk menentukan lokasi titik kontrol. Akurasi sub-sentimeter mungkin diperlukan untuk titik kontrol yang digunakan dalam layer batas properti,

sementara akurasi beberapa meter mungkin dapat diterima untuk pemetaan vegetasi area yang luas. Sumber umum koordinat titik kontrol adalah survei jarak dan transit tradisional, pengukuran sistem penentuan posisi global, peta kualitas kartometrik yang ada, atau layer data digital yang ada di mana fitur yang sesuai dapat diidentifikasi.

4.3.2 Dua Sistem Koordinat yang Diproyeksikan: UTM dan Bidang Bagian

Sistem koordinat yang disebut Universal Transverse Mercator dikembangkan berdasarkan serangkaian 60 proyeksi ke semi-silinder yang menghubungi bumi di sepanjang meridian. (Untuk membayangkan misalnya, salah satu proyeksi ini, bayangkan selembar kertas melengkung sehingga menjadi setengah silinder yang radiusnya sama dengan bumi. Kemudian, dengan sumbu silinder diorientasikan ke arah timur-barat — karenanya istilah transversal — kertas disentuhkan dengan globe di sepanjang meridian yang menunjukkan bujur 3°. Kemudian, permukaan bumi antara 0° dan 6° diproyeksikan ke atas kertas). Proses ini diulangi untuk meridian pusat 9°, 15°, 21°, dan seterusnya hingga 357°. Istilah "zona" digunakan secara ambigu untuk petak wilayah ini. Namun, proyeksi UTM selanjutnya dibagi lagi menjadi beberapa area, juga disebut zona, mencakup 6° garis bujur dan, untuk sebagian besar zona, 8° garis lintang. Selanjutnya, ArcGIS membagi zona total menjadi bagian utara dan selatan. Bagaimanapun, sistem koordinat diberlakukan pada proyeksi yang dihasilkan sedemikian rupa sehingga angka-angka di zona tertentu:

- Selalu positif
- Selalu naik dari kiri ke kanan (barat ke timur)
- Selalu naik dari bawah ke atas (selatan ke utara)

Representasi objek yang telah kita diskusikan sebelumnya (pada 38° LU dan 84.5° BB) dalam sistem koordinat UTM, ketika sistem tersebut didasarkan pada WGS84, adalah "arah utara" 4.208764.4636 meter dan "arah timur" 719.510.3358 meter. Arah utara adalah jarak ke titik, dalam meter, dari ekuator yang diukur di sepanjang permukaan "Bumi" yang tidak memiliki tonjolan. Penetapan arah timur agak lebih rumit untuk dijelaskan karena bergantung pada zona dan sistem koordinat yang mengecualikan bilangan negatif. Lihat buku teks tentang geodesi atau kartografi, atau tinjau banyak halaman web yang muncul saat Anda mengetik kata

UTM “coordinate system” “Transverse Mercator”

ke mesin pencari Internet (mis., www.google.com).

Salah satu versi sistem koordinat UTM didasarkan pada NAD27. Dalam kasus ini, objek kita akan memiliki koordinat yang berbeda: ke arah utara 4.208.550.0688 dan ke timur 719.510.6393. Hal ini menghasilkan perbedaan sekitar 214 meter. Jika Anda menggabungkan data WGS84 UTM dengan data NAD27 UTM, lokasi yang mereka gambarkan mungkin salah sehingga tidak terlihat jelas di beberapa skala, tetapi cukup untuk menyebabkan masalah.

Setiap negara memiliki satu atau lebih Sistem Koordinat Pesawat Negara (SPCS). Sistem itu dikembangkan, awalnya pada tahun 1930-an, oleh U.S. Coast and Geodetic Survey (Lembaga Survei Pantai dan Geodesi A.S.). Sistem ini didasarkan pada proyeksi yang berbeda (biasanya Transverse Mercator atau Lambert Conformal Conic), bergantung pada apakah negara bagian tsb sebagian besar utara-selatan (seperti California) atau sebagian besar timur-barat

(Tennessee). Satuan SPCS mungkin kaki internasional, kaki survei, atau meter, tergantung pada keputusan yang dibuat oleh negara itu sendiri. Batas zona sering kali mengikuti batas wilayah. Sistem koordinat yang digunakan di satu negara bagian tidak dapat diterapkan di negara bagian tetangga. Anda juga tidak dapat menerapkan SPCS dari satu zona ke area di negara bagian yang berdekatan di zona lain. Selain itu, perbedaan antara NAD27 dan NAD83 (WGS84) bisa sangat besar. Di Kentucky, misalnya, 38.0000000° (LU) dan 84.5000000° (BB) akan diterjemahkan ke arah utara 1.568.376.1900 kaki dan di timur 182.178.3166 kaki jika didasarkan pada WGS84. Namun, jika basisnya di NAD27, koordinatnya adalah 1.927.939.8692 dan 182.145.9821, yang membuat perbedaan sekitar 68 mil!

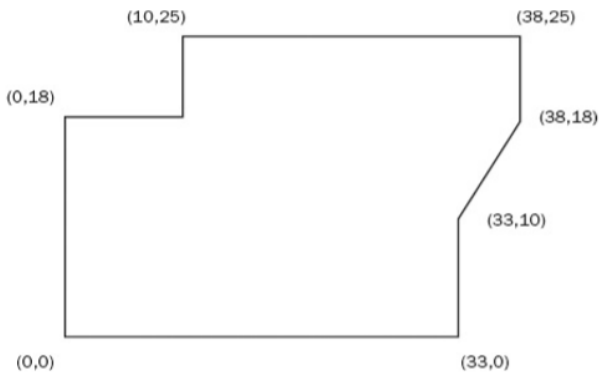
Mengapa perbedaan besar dalam sistem koordinat proyeksi berdasarkan NAD27 dan yang berbasis WGS84? Karena system itulah yang bertanggung jawab atas keakuratan sistem koordinat lainnya memanfaatkan pengembangan WGS84 — sistem lintang-bujur yang berpusat di bumi dan di seluruh dunia — untuk memperbaiki atau meningkatkan atau mengubah asal dari sistem koordinat yang diproyeksikan tersebut.

Sistem koordinat bidang bagian umumnya dirancang untuk memiliki kesalahan skala maksimum sekitar 1 unit dalam 10.000. Misalkan Anda menghitung jarak Kartesius (menggunakan teorema Pythagoras) antara dua titik yang direpresentasikan dalam sistem koordinat bidang keadaan menjadi tepat 10.000 meter. Kemudian, dengan pita pengukur yang sempurna, yang ditarik dengan erat melintasi planet yang diidealkan, Anda akan yakin bahwa hasil yang diukur akan berbeda tidak lebih dari 1 meter dari yang dihitung. Kesalahan yang mungkin terjadi dengan sistem koordinat UTM mungkin lebih besar: 1 dalam 2500.

4.3.3 Transformasi Koordinat

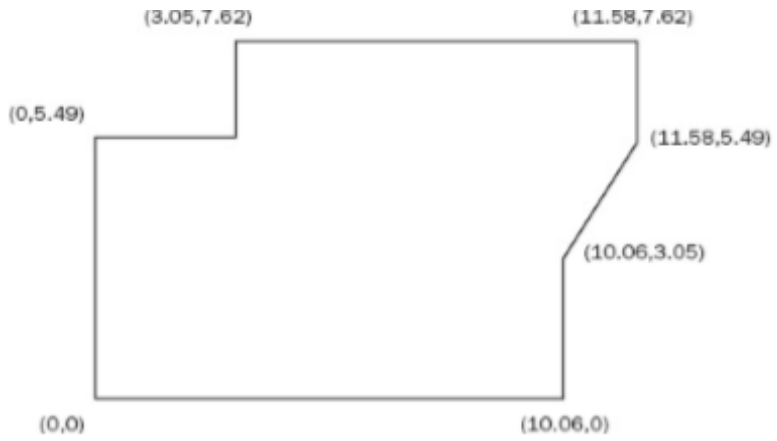
Transformasi koordinat dari sekumpulan data geografis hanya mengambil setiap pasangan koordinat angka dalam kumpulan data tersebut dan mengubahnya menjadi pasangan angka lain yang menunjukkan tempat yang persis sama di permukaan bumi, tetapi menggunakan sistem penetapan koordinat yang berbeda.

Mari kita buat sistem koordinat untuk taman yang digambarkan oleh garis di antara tiang-tiang. Misalkan titik asal (0,0) berada di pojok barat daya. Sekarang gerakkan beberapa tiang di tanah sehingga jika Anda melewatkan tali di sekelilingnya, itu akan membentuk polygon. Misalkan Anda menggunakan pita pengukur yang dikalibrasi di kaki pengukur untuk mengukur koordinat Kartesius untuk setiap pasak. Tiang 0 berada di titik asal (0,0). Tiang 1 ada di 33 kaki ke timur dan 0 kaki ke utara (yaitu, 33,0). Tiang 2 ada di (33,10), dan seterusnya. Lihat gambar.



Gambar 4.18 Lokasi tiang taman

Misalkan taman tumbuh dan kemudian terlalu subur. Tahun depan seseorang menemukan titik asal dan ingin menemukan tiang aslinya. Dia juga memiliki pita surveyor, tetapi itu dikalibrasi dalam meter, bukan kaki. Dia meminta Anda untuk memberikan data di mana tiangnya berada dalam meter. Dalam hal ini, transformasi sistem koordinat itu mudah: Anda cukup mengalikan setiap angka dengan faktor konversi (jumlah meter per kaki survei, yaitu 0,3048). Jadi koordinat tiang 1 adalah (10.06, 0). Tiang 2 adalah (10.06, 3.05), dan seterusnya. Lihat gambar.



Gambar 4.19 Lokasi tiang taman

Tiang-tiangnya ada di tempat yang sama seperti sebelumnya. Posisinya hanya ditunjukkan oleh sekumpulan angka yang berbeda. Koordinat geografis atau transformasi datum tidak lebih atau kurang dari ini, kecuali bahwa lebih banyak operasi matematika yang diterapkan pada angka tersebut.

4.3.4 Dimensi Fisik

Semua materi ada dalam empat dimensi — secara kasar dikarakterisasikan berdasarkan kiri-kanan, dekat-jauh, naik-turun, dan waktu. Tiga yang pertama secara konseptual digabungkan dan disebut "dimensi spasial". Di sini waktu diperlakukan sebagai dimensi karena kita ingin membicarakan “posisi” dalam ruang dan waktu.

Objek fisik apa pun menempati ruang dan tetap berada dalam waktu. Ini berlaku untuk benda terbesar di alam semesta dan atom terkecil. Namun, ketika ukuran satu atau lebih dimensi suatu objek kecil, atau tidak signifikan, relatif terhadap ukuran benda lain atau kecil relatif terhadap lingkungannya, akan berguna untuk mendeskripsikan dan merepresentasikan objek dengan menganggap bahwa benda itu menempati lebih sedikit dari tiga dimensi spasial. Misalnya, selembar kertas dapat dianggap sebagai objek dua dimensi semu; memiliki ketebalan (atas-bawah), tetapi dimensi itu sangat kecil dibandingkan dengan kiri-kanan dan ke dekat-jauh. Meteran parkir di sebuah kota dapat dianggap sebagai objek dimensi nol semu, karena ukuran semua dimensinya tidak signifikan terhadap lingkungannya. (Meteran parkir tentu tidak akan dianggap sebagai objek dimensi nol spasial oleh perancang, pabrikan, atau pengemudi yang menggunakannya. Oleh karena itu, pseudodimensionalitas suatu objek bergantung pada konteksnya.)

Penting untuk mempertimbangkan dimensi semu dari suatu objek dan bidang (ruang) tempatnya berada. Sebuah titik pada garis adalah objek berdimensi nol dalam ruang satu

dimensi. Segmen garis pada bidang adalah objek satu dimensi dalam ruang dua dimensi. Poligon adalah objek dua dimensi dalam ruang dua dimensi. Sebuah titik dalam volume adalah benda berdimensi nol dalam ruang tiga dimensi. Dimensi objek harus kurang dari, atau sama dengan, dimensi ruang tempatnya berada.

Masalah dimensionalitas ini berperan di sini karena penghematan penyimpanan komputer yang besar dapat dicapai jika suatu objek dianggap memiliki dimensi yang lebih sedikit daripada yang sebenarnya. Misalnya, mendeskripsikan hidran kebakaran sebagai objek spasial tiga dimensi yang kompleks akan menjadi tugas yang berat dan melibatkan banyak angka dan banyak teks. Jika dianggap sebagai objek berdimensi nol, lokasinya dapat dijelaskan (dengan sangat tepat, tetapi masih tidak tepat) dengan tiga angka, mungkin mewakili garis lintang, garis bujur, dan ketinggian suatu titik pada hidran atau, mungkin, pusat massanya.

Dimensi spasial dari objek spasial pseudo-zero-dimensional tidak signifikan relatif terhadap konteks atau lingkungan tempat ia berada. Titik geometris teoretis adalah contoh prototipikal. Contoh objek zerodimensi pada peta atau GIS dapat berupa lampu jalan, meteran parkir, sumur minyak, jalur sensus, atau kota — tergantung pada luas spasial objek atau fitur lain dalam database.

Objek atau fitur pseudo-satu dimensi spasial tidak memiliki lebih dari satu dimensi yang penting atau pada dasarnya terdiri dari objek satu dimensi. Segmen garis lurus adalah contoh prototipikal. Dalam hal membuat benda satu dimensi naik dari bagian-bagian komponen, perhatikan contoh kabel telepon yang dirangkai dari satu tiang ke tiang berikutnya dan seterusnya. Ini dianggap sebagai objek satu dimensi, meskipun tiangnya mungkin tidak dalam garis lurus, sehingga saluran telepon berliku-liku di atas bidang dua dimensi. (Garis itu sendiri melorot dan bertahan dalam waktu — dan karena itu ada dalam konteks empat dimensi — tetapi terlepas dari fakta-fakta ini, garis itu dapat disederhanakan atau digeneralisasikan menjadi fitur satu dimensi — menghemat banyak penyimpanan komputer, waktu pemrosesan, dan konsep yang rumit.) Jalan, batas distrik sekolah, pipa untuk air, dan garis kontur pada peta topografi adalah contoh entitas pseudo satu dimensi.

Anda dapat mengabaikan dimensi naik-turun dalam objek spasial-pseudo-dua dimensi. Daerah dataran seperti daerah pemilihan dan ladang kedelai adalah contohnya. Area semu seperti itu tidak memiliki komponen vertikal — variabilitas dalam ketinggian — yang bisa jadi penting. Luas permukaan sebenarnya dari medan berbukit mungkin kurang terwakili oleh luas bidang dalam batas-batas gambar bidang yang disajikan.

Anda harus mempertimbangkan semua dimensi objek tiga dimensi spasial untuk mewakilinya. Fitur tiga dimensi adalah volume — katakanlah, lapisan batu bara atau bangunan.

Relatif satu sama lain, posisi fitur yang kita catat berdasarkan GIS tidak bergerak, atau tidak bergerak cepat, satu terhadap yang lain. Terkadang kita ingin tahu bagaimana perubahan kondisi atau bergeraknya objet. Representasi objek mungkin nol, satu, dua, atau tiga dimensi. Yang paling kompleks, GIS akan melibatkan keempat dimensi semuanya. Kebanyakan operasi GIS dan kumpulan data memiliki dua dimensi; data diasumsikan berkaitan dengan momen dalam waktu, atau fenomena atau kondisi stabil selama periode waktu tertentu. GIS tiga dimensi dapat mencakup tiga dimensi spasial (seperti volume tambang batu kapur) atau dua dimensi spasial dan waktu yang bervariasi (menunjukkan perubahan historis dalam lanskap). Anda akan jarang menggunakan GIS empat dimensi.

Hasil dari GIS selalu hanya perkiraan dari kenyataan. Salah satu alasannya yang akan dibahas nanti adalah karena kita menyederhanakan objek dengan cara mereduksi dimensinya.

4.3.5 Entitas Dimensi Nol dalam Bidang Dua Dimensi: Titik

Meskipun penting untuk GIS, benda berdimensi nol (secara umum adalah sebuah titik) cukup membosankan dari sudut pandang geometris. Benda ini pada dasarnya adalah sepasang angka (koordinat x dan y, atau mungkin, koordinat lintang dan bujur) yang disimpan sebagai angka presisi tunggal atau ganda.

Konsep titik digunakan dalam berbagai cara di GIS untuk merepresentasikan fitur, sebagai titik akhir garis, sebagai simpul dalam urutan segmen garis, sebagai simpul segitiga, sebagai titik referensi yang mengikat fitur yang ditetapkan ke dunia nyata, sebagai lokasi untuk menggantung label, sebagai sentroid area, sebagai persimpangan dan node dalam jaringan geometris, sebagai pusat atau sudut sel raster, dan lain-lain.

Kita bekerja umumnya dengan titik-titik di arena dua dimensi, tetapi tentu saja titik-titik itu benar-benar ada di ruang tiga dimensi. ArcGIS akan memungkinkan kita menambahkan informasi tentang dimensi ketiga ini, terkadang sebagai jumlah atribut (nilai "z") dan terkadang (misalnya, dalam TIN) sebagai ukuran dalam dimensi ketiga yang sebenarnya. Bahkan jika titik 3-D yang sebenarnya disajikan, satuan pengukuran vertikal mungkin tidak sama dengan yang digunakan pada bidang horizontal. Beberapa kegunaan titik dijelaskan di bawah ini.

Titik yang mewakili fitur — Dalam kasus ini, titik telah dikaitkan dengan baris dalam tabel database relasional yang mengidentifikasi titik dan memungkinkan pengguna untuk menambahkan informasi (atribut) lain tentang fitur yang diwakili oleh titik tersebut. Anda mengenal poin-poin yang merepresentasikan fitur-fitur dalam contoh hidran kebakaran pada pembahasan sebelumnya. Sebuah titik dapat digunakan untuk merepresentasikan fitur yang terlalu kecil sebaga area yang bermakna. Bagaimana konsep titik cocok dengan sistem vektor? Sebuah titik hanyalah sebuah vektor dengan besaran nol dan arah yang tidak penting.

Multipoin — Multipoin adalah kumpulan titik yang memiliki nilai atribut yang sama (misalnya, beberapa sumur gas yang memiliki karakteristik dan pemilik yang sama). Kumpulan poin diwakili oleh satu baris dalam sebuah tabel.

Sudut— Merupakan kumpulan koordinat tempat dua segmen garis digabungkan atau di mana segmen garis berakhir. Juga dianggap sebagai simpul pada sudut segitiga dalam TIN. Biasanya, tidak ada baris tabel database yang diasosiasikan dengan sebuah simpul.

Label — Merupakan titik yang membawa informasi tekstual mengenai apa yang diwakili oleh titik atau poligon tempat titik tersebut berada.

Persimpangan — Merupakan titik dalam jaringan geometris di mana tempat ujung garis (tepian) digabungkan.

Titik kisi — Kumpulan titik dalam raster, biasanya ditentukan sebagai pusat sel.

4.3.6 Entitas Satu Dimensi dalam Bidang Dua Dimensi: Garis

Anda telah melihat contoh garis yang mewakili aliran dan selokan di pembahasan sebelumnya. Garis juga digunakan di sana untuk menggambarkan batas poligon. Garis dapat digunakan untuk merepresentasikan fitur linier yang terlalu sempit sebagai area yang bermakna. Seperti entitas berdimensi nol, simpul pada sebuah garis mungkin memiliki nilai “z” (mis., ketinggian).

Dalam Istilah GIS, garis adalah entitas geometris sederhana yang terdiri dari urutan (yaitu, himpunan berurutan) dari simpul, yang merupakan pasangan dari 2 atau 3 koordinat. Di antara setiap pasangan simpul yang berdekatan ada segmen. Segmen seringkali hanya berupa garis lurus, tetapi dalam kelas fitur Database berbasis vektor, segmen juga dapat menjadi bagian dari lingkaran atau elips, atau mungkin berupa spline (disebut juga kurva Bézier). Sebuah garis yang terdiri dari beberapa segmen garis lurus yang terhubung pada simpul dapat mendekati sebuah kurva. Oleh karena itu, garis dapat digunakan untuk merepresentasikan fitur lengkung, seperti jalan dan sungai. Segmen garis tidak boleh saling berpotongan.

Path/Jalur — Jalur adalah garis seperti yang dijelaskan sebelumnya, yang terdiri dari urutan segmen yang terhubung (atau satu segmen). Istilah "jalur" digunakan dalam kelas fitur Database berbasis vektor.

Polyline — Polyline terdiri dari satu atau beberapa jalur. Jika ada beberapa jalur, jalur tersebut mungkin terhubung atau terputus-putus. Meskipun polyline merepresentasikan fitur terdiri dari beberapa jalur, polyline hanya memiliki satu baris dalam tabel atribut. Jika polyline digunakan dalam shapefile, segmen jalur harus berupa garis lurus.

Cincin — Dalam kelas fitur vektor Database, jika jalur menutup area (poligon), jalur tersebut disebut cincin. Sebuah cincin dimulai dan diakhiri di tempat yang sama. Cincin adalah urutan segmen yang tidak berpotongan yang membentuk loop tertutup. Tujuan utamanya adalah untuk menutupi area. Jika segmen diarahkan ke garis lurus (vektor), maka area yang dilingkupi adalah poligon, baik dalam pengertian matematika maupun GIS. Jika segmen merupakan elemen lengkung (busur lingkaran atau elips, atau splines), maka area tertutup adalah poligon GIS, tetapi tidak yang geometris. Sebuah cincin memiliki arti yang jelas di dalam dan di luar. Panjang cincin secara otomatis disimpan dalam tabel atribut terkait.

Arc/Busur — Digunakan dalam penutup yang tidak dibahas di sini. (Konsep busur adalah dasar untuk penunjukan "Arc" dari ArcInfo. Busur Esri pada dasarnya adalah vektor. Sedangkan "Info" adalah nama merek asli database yang digunakan sistem.)

Rute—Rute adalah subset atau superset dari polyline. Rute memungkinkan pengguna untuk menentukan kumpulan fitur linier (misalnya, bagian dari sistem jalan yang membentuk rute bus #99), atau mengukur jarak sepanjang fitur linier (di mana aliran berubah dari jernih menjadi keruh). Rute menggunakan bilangan m (ukuran) yang menentukan jarak di sepanjang fitur ke lokasi di mana sesuatu berubah.

4.3.7 Entitas Dua Dimensi dalam Bidang Dua Dimensi: Poligon

Mari kita lihat secara quasi-filosofis pada definisi area dan garis bidang yang mendefinisikannya. Garis menentukan poligon, tetapi terkadang tidak terlalu jelas apa yang dimaksud dengan beberapa istilah dasar.

Definisi umum: Poligon adalah gambar bidang tertutup yang dibatasi oleh tiga atau lebih ruas garis. Ini menyiratkan bahwa area di dalam segmen disertakan dan dapat dihitung. Misalnya, definisi standar segitiga adalah poligon bersisi tiga. Tapi apakah segitiga itu? Apakah kerangka logam rangka atau layar kapal? Manakah dari dua gambar di bawah ini yang akan Anda anggap segitiga?

Mungkin Anda akan mengatakan keduanya, meskipun yang satu terdiri dari tiga ruas garis sedangkan yang lainnya adalah sebuah area. Jika yang di sebelah kanan, yang merupakan suatu luas, disebut segitiga, lalu apa sebutan gambar di sebelah kiri?

Juga orang bisa bertanya: apa itu lingkaran? Apakah itu garis lengkung? Ataukah bidang itu seperti koin? Artinya, apakah itu lokus titik pada jarak "d" dari satu titik "c" (pusat), atau apakah itu lokus titik pada jarak "d" atau kurang dari "d" dari satu titik "c." "Lingkaran" digunakan dalam dua cara tsb dalam bahasa Inggris.

Lihatlah gambar ini — mana yang Anda anggap sebagai lingkaran?

Anda masih bisa mengatakan keduanya, tapi mungkin yang di kiri cocok dengan definisi yang umum. Yang di sebelah kanan, dengan area yang disertakan, lebih tepat disebut disk/cakram. Di sisi lain, kita dapat berbicara tentang "luas lingkaran" dan memiliki rumus untuk itu. Tetapi berdasarkan definisi lingkaran, bukankah seharusnya kita mengacu pada “area dalam lingkaran”?

Dengan ArcGIS kita bisa membuat pernyataan definitif. Sebuah gambar disebut poligon jika memiliki luas terkait. Sekumpulan ruas garis, meskipun mungkin tertutup, tidak dianggap sebagai poligon. Karena itu, ketahuilah bahwa definisi Database ArcGIS dari poligon sepenuhnya membuang definisi matematis dari poligon. Berikut ini adalah poligon:

Poligon di ArcGIS, bagaimanapun, hampir selalu dianggap sebagai figur bidang dibanding sebagai elemen garis yang saling mengikat.

Poligon — Dalam geometri, poligon adalah bangun datar dengan tiga atau lebih sisi garis lurus. Sisi tidak boleh bersilangan. Mungkin Anda menganggap poligon sebagai persegi atau segi enam — dan Anda benar. Akan tetapi, terdapat Batasan, namun tidak ada batasan kecil untuk jumlah sisi yang mungkin dimiliki poligon, dan sisi-sisinya juga tidak harus memiliki panjang yang sama, tidak seperti dalam poligon beraturan di mana panjang sisi dan sudutnya sama. Bukan hal yang aneh jika poligon GIS memiliki ratusan sisi.

Di GIS kita bebas dalam menggunakan kata "poligon". Untuk satu hal, poligon GIS dapat berisi poligon lain (yang dapat berisi poligon lain lagi, yang dapat berisi poligon lain lagi, dan seterusnya). Selanjutnya, sementara poligon dalam shapefile mungkin hanya memiliki "sisi" yang berupa garis lurus, "sisi" poligon Database dapat berupa bagian lingkaran atau elips, atau mungkin berupa kurva Bézier. Lebih jauh lagi, poligon GIS bisa berupa beberapa poligon.

Dalam Database dan shapefile, satu poligon (sebuah entitas dengan satu baris dalam tabel) dibentuk oleh kumpulan satu atau lebih cincin — seperti yang didefinisikan sebelumnya. Jika lebih dari satu cincin terlibat, tidak ada cincin yang boleh bersentuhan.

Sel — Biasanya berupa area persegi yang (biasanya) berisi angka yang terkait dengan suatu entitas atau kondisi. Digunakan dalam model data raster atau grid.

Zona — Kumpulan sel yang memiliki nilai yang sama. Digunakan dalam model data raster atau grid. Sel-sel zona dapat bersebelahan atau tidak bersebelahan.

Segitiga — Merupakan bidang atau poligon bersisi tiga yang digunakan dalam model data TIN, di mana setiap segitiga memiliki kemiringan dan arah (aspek) maksimum yang dihitung. Selanjutnya, setiap titik di segitiga memiliki nilai z, seperti elevasi.

Wilayah—Istilah ini digunakan dengan cara yang berbeda bergantung pada model data mana yang sedang diolah. Dalam sistem raster atau grid, suatu wilayah adalah kumpulan sel, yang semuanya memiliki nilai yang sama (yaitu, semuanya berada di zona yang sama) dan yang terhubung ke setidaknya satu sel lain di zona tersebut. (Agar Anda tidak bingung, meskipun kami umumnya tidak peduli dengan cakupan, istilah wilayah yang digunakan dengan model data cakupan menetapkan sesuatu yang secara filosofis berbeda dibanding dengan model raster. Dan Database menangani konsep ini dengan apa yang disebut banyak poligon.)

4.3.8 Entitas Tiga Dimensi dalam Bidang Tiga Dimensi: Segitiga dan Multipatch

Segitiga adalah bidang poligon bersisi tiga yang digunakan dalam model data TIN, di mana setiap segitiga memiliki kemiringan maksimum dan arah (aspek) yang terhitung. Lebih lanjut, setiap titik pada atau di dalam segitiga memiliki nilai "z" seperti elevasi.

Multipatch adalah permukaan luar, atau cangkang, dari fitur yang menempati area atau volume diskrit dalam ruang tiga dimensi. Misalnya, representasi dari sebuah bangunan.

4.3.9 Mekanisme Khusus Penyimpanan Data Vektor Spasial Esri

Sekarang mari beralih ke penyimpanan spesifik dan manipulasi data spasial berdasarkan perangkat lunak Esri. Esri telah berusia puluhan tahun dan program komputer serta skema penyimpanannya telah berkembang pesat. Seperti yang disebutkan, model data asli dan elegan — cakupan — yang didasarkan pada penggunaan busur untuk mewakili fitur linier dan areal sebenarnya sudah usang. Anda harus tahu cara mengonversi cakupan (yang mungkin

Anda temukan karena banyak kumpulan data dalam format ini) menjadi Database, dan hanya itulah yang perlu Anda ketahui. Anda mungkin ingat bahwa cara membuat konversi ini telah disajikan di pembahasan sebelumnya.

Database adalah “coin of the realm/koin dunia” di perangkat lunak Esri saat ini. Semua alat yang dikembangkan berhubungan dengan Database. Sejumlah besar aturan topologi dan perbaikan topologi menyertai Database. Idealnya, semua cakupan dan shapefile akan diubah menjadi bentuk Database. Akan tetapi, ini adalah pekerjaan monumental jika Anda memperdalam bidang GIS, dan Anda dapat menjadi bagiannya.

Kumpulan data spasial di Esri utamanya disimpan di Database, shapefile, TINs, (dan "super TINS" yang disebut terrains/medan). Interaksi antara tipe-tipe ini cukup kompleks. Mari kita mulai dengan cara utama menyimpan data spasial berdasarkan vektor dan raster: Database.

4.3.10 Sistem Penentuan Posisi Global

Sistem penentuan posisi global (GPS/global positioning system) adalah sistem berbasis satelit yang memberikan informasi lokasi dan waktu yang akurat dan tepat kepada pengguna. Dengan menggunakan NAVSTAR GPS, Anda dapat menentukan lokasi di bumi dengan mudah dalam beberapa meter, dan dengan usaha dan biaya lebih dapat menentukan lokasi dalam beberapa sentimeter atau lebih baik. Waktu dalam 40 miliar detik (40 nanodetik) lebih mudah diperoleh. Pengaturan waktu dalam 10 nanodetik pun mungkin dilakukan.

Departemen Pertahanan AS mengoperasikan GPS NAVSTAR bekerja sama dengan Departemen Transportasi AS. NAVSTAR adalah singkatan dari “NAVigation System Timing And Ranging Global Positioning System”. Secara informal disebut Navigation Star.

GLONASS (Global Navigation Satellite System/Sistem Satelit Navigasi Global) Rusia juga beroperasi dengan cara yang sama. Kekhawatiran terhadap kendali AS atas NAVSTAR membuat Eropa memulai pengembangan sistem Galileo independennya sendiri pada tahun 2002, dan sekarang sudah beroperasi. Cina sedang mengembangkan BeiDou (Kompas) GNSS.

Penerima GPS, yang “mengingat di mana dia berada,” menjadi metode utama dalam menyediakan data untuk GIS. Misalnya, jika Anda mengendarai mobil van dengan antena GPS di atapnya di sepanjang jalan raya, merekam data setiap, misalnya 50 kaki, Anda akan mengembangkan peta lokasi jalan raya yang akurat dan tepat.

4.4 Output : Map, Data Digital, Metadata

Kami membuat data spasial untuk digunakan, dibagikan, dan diarsipkan. Peta sering dibuat selama pembuatan dan distribusi data, sebagai dokumen perantara saat mengedit, untuk analisis, atau sebagai produk jadi untuk mengkomunikasikan beberapa aspek data kami. Agar bermanfaat secara luas, kita juga harus menghasilkan informasi, atau “metadata”, tentang data spasial yang telah kita buat, dan kita mungkin harus mengonversi data ke bentuk standar. Bagian ini menjelaskan beberapa karakteristik output data. Kami mulai dengan pembahasan singkat tentang kartografi dan desain peta, yang dengannya kami memproduksi peta hardcopy dan digital. Kami kemudian memberikan deskripsi metadata, dan beberapa pengamatan tentang konversi data dan standar transfer data.

4.4.1 Kartografi dan Desain Peta

Kartografi adalah seni dan teknik pembuatan peta. Ini mencakup alat pembuatan peta dan bagaimana alat ini dapat digabungkan untuk mengkomunikasikan informasi spasial. Kartografi adalah disiplin ilmu yang sangat dalam dan luas, dan ada banyak buku, artikel jurnal, konferensi, dan perkumpulan yang mengabdikan diri pada ilmu dan seni kartografi.

Tujuan utama kartografi adalah untuk mengkomunikasikan informasi spasial. Ini membutuhkan identifikasi

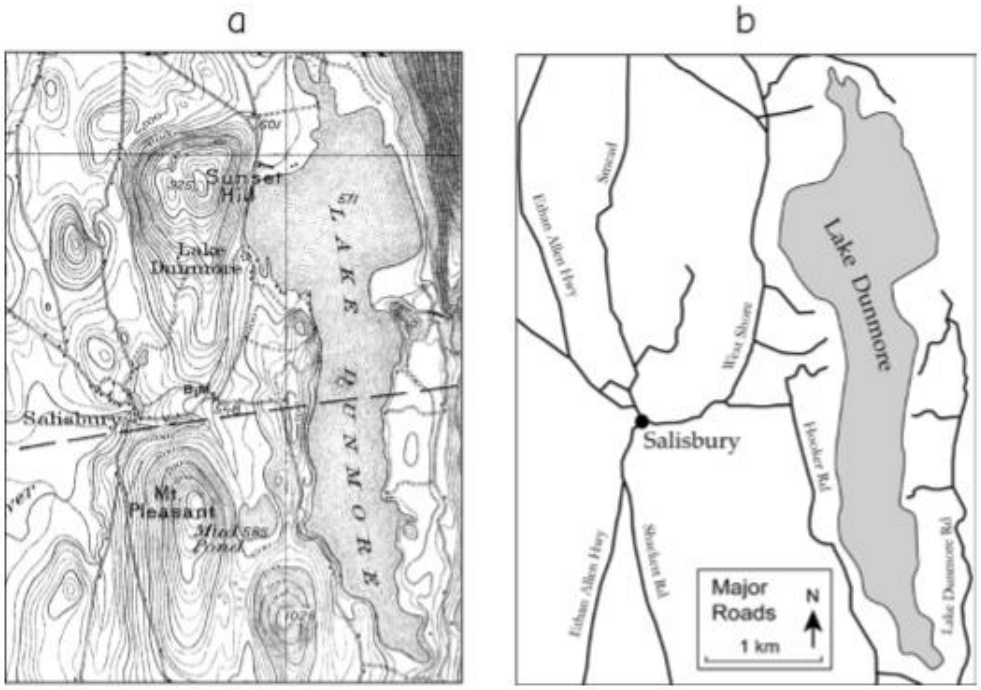
- Audiens yang dituju,
- Informasi untuk dikomunikasikan,
- Area minat,
- Keterbatasan fisik dan sumber daya;

singkatnya, siapa, apa, di mana, dan bagaimana kami menyajikan informasi kami.

Pertimbangan ini mendorong keputusan desain kartografi utama yang kami buat setiap kali kami membuat peta. Kita harus mempertimbangkan:

- Skala, ukuran, bentuk, dan properti peta umum lainnya,
- Data untuk direncanakan,
- Bentuk, ukuran, atau pola simbol,
- Pelabelan, termasuk jenis font dan ukuran,
- Properti legenda, ukuran, dan batas, dan
- Penempatan semua elemen ini di peta.

Skala, ukuran, dan bentuk peta terutama bergantung pada tujuan penggunaan peta. Peta dinding untuk dilihat pada jarak satu meter atau lebih mungkin memiliki sedikit fitur yang besar dan berwarna mencolok. Sebaliknya, peta jalan yang umumnya diproduksi untuk navigasi di wilayah metropolitan dirinci, untuk dilihat dalam jarak pendek, dan memiliki sekumpulan tabel tambahan, daftar, atau fitur lain yang kaya.



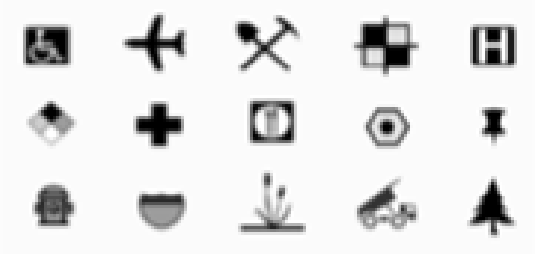
Gambar 4.20 : Contoh a) peta rinci dan tujuan umum, di sini sebagian dari peta Survei Geologi dan b) peta khusus yang memfokuskan serangkaian fitur tertentu yang dipilih, di sini menunjukkan jalan. Fitur yang dipilih untuk penggambaran di peta bergantung pada penggunaan peta yang dimaksudkan.

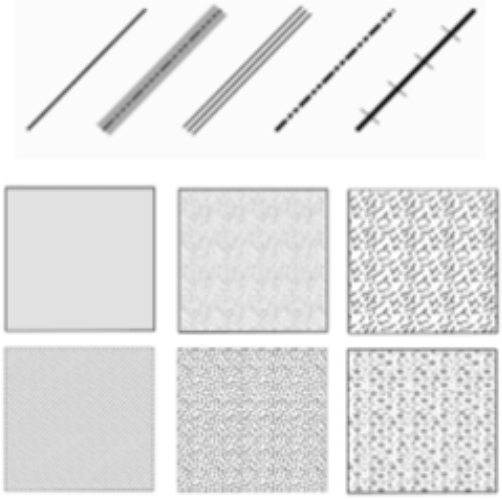
Skala peta sering kali ditentukan sebagian oleh ukuran objek utama yang ingin kita tampilkan, dan sebagian oleh ukuran media yang paling sesuai, seperti ukuran halaman atau layar yang memungkinkan untuk sebuah dokumen. Seperti disebutkan sebelumnya, skala peta adalah rasio panjang di peta dengan panjang sebenarnya. Jika kami ingin menampilkan area yang membentang 25 km (25.000 m) pada layar yang membentang 25 cm (0,25 m), skala peta akan mendekati 0,25 hingga 25.000, atau 1: 100.000. Keputusan tentang ukuran, luas, dan skala ini kemudian mendorong desain peta lebih lanjut. Misalnya, skala membatasi fitur yang mungkin kami tampilkan, serta ukuran, jumlah, dan pelabelan fitur. Pada skala 1:100.000 kami mungkin tidak dapat menampilkan semua kota, burg, dan kota kecil, karena mungkin terlalu banyak untuk ditampung pada ukuran yang dapat dibaca.

Peta biasanya memiliki tema atau tujuan utama yang ditentukan oleh audiens yang dituju. Apakah peta untuk populasi umum, atau untuk audiens target dengan harapan khusus untuk fitur dan desain peta? Peta tujuan umum biasanya memiliki berbagai fitur yang diwakili, termasuk jaringan transportasi, kota, ketinggian, atau fitur umum lainnya (Gambar a). Peta tujuan khusus, seperti peta jalan, berfokus pada kumpulan fitur yang lebih terbatas, dalam hal ini lokasi dan nama jalan, nama kota, dan fitur geografis yang luas (Gambar b).

Setelah fitur yang akan disertakan pada peta ditentukan, kita harus memilih simbol yang digunakan untuk menggambarnya. Simbologi sebagian bergantung pada jenis fiturnya. Misalnya, kami memiliki sekumpulan opsi yang berbeda saat merepresentasikan fitur berkelanjutan seperti elevasi atau konsentrasi polusi daripada saat merepresentasikan fitur diskrit. Kita juga harus memilih di antara simbol untuk masing-masing tipe fitur diskrit; misalnya, himpunan simbol untuk titik umumnya berbeda dari simbol untuk fitur garis atau area.

Ukuran simbol adalah atribut penting dari simbologi peta, sering ditentukan dalam unit yang disebut titik. Satu titik kira-kira sama dengan 0,467 mm, atau sekitar 1/72 inci. Nomor titik tertentu paling sering digunakan untuk menentukan ukuran simbol, misalnya, dimensi kotak kecil untuk merepresentasikan rumah di peta, atau karakteristik pola tertentu yang digunakan untuk mengisi area di peta. Lebar garis juga dapat ditentukan dalam poin. Menetapkan lebar garis dua titik berarti kita ingin garis tersebut diplot dengan lebar 0,93 mm. Sangat disayangkan bahwa "titik" adalah nama unit jarak dan properti umum fitur geografis, seperti dalam "pohon adalah fitur titik". Hal ini memaksa kita untuk berbicara tentang "ukuran titik" dari simbol untuk mewakili titik, garis, atau isian atau pola area, tetapi jika kita berhati-hati, kita dapat mengomunikasikan spesifikasi ini dengan jelas.





Gambar 4.21: Contoh simbol titik (atas), garis (tengah), dan area (bawah) yang digunakan untuk membedakan fitur dari tipe yang berbeda. Kebanyakan perangkat lunak GIS menyediakan seperangkat simbol standar untuk fitur titik, garis, area, dan permukaan kontinu.

Ukuran, pola, bentuk, dan warna terbaik yang digunakan untuk melambangkan setiap fitur tergantung pada jarak pandang; jumlah, kepadatan, dan jenis fitur; dan tujuan peta. Umumnya, kami menggunakan simbol yang lebih besar, lebih berani, atau lebih tebal agar peta dilihat dari jarak yang lebih jauh, sementara kami mengurangi batas ini saat membuat peta untuk dilihat pada 50 cm (18 in). Kebanyakan orang dengan penglihatan normal di bawah pencahayaan yang baik dapat menyelesaikan garis hingga mendekati 0,2 titik pada jarak dekat, asalkan garis menunjukkan kontras yang baik dengan latar belakang. Meskipun batas ukuran sangat bergantung pada warna latar belakang dan kontras, fitur titik biasanya tidak dapat dipecahkan pada ukuran yang lebih kecil dari sekitar 0,5 poin, dan sulit membedakan antara bentuk untuk fitur titik yang lebih kecil dari sekitar 2 titik dalam dimensi terbesarnya.

Pola dan warna simbol juga harus dipilih, umumnya dari kumpulan yang disediakan oleh perangkat lunak. Simbol umumnya membedakan jenis fitur berdasarkan karakteristiknya, dan meskipun sebagian besar simbol tidak terkait dengan jenis fitur, beberapa di antaranya, seperti, garis besar bidang untuk bandara, perisai bernomor untuk jalan raya, atau garis arsir untuk rel kereta api.

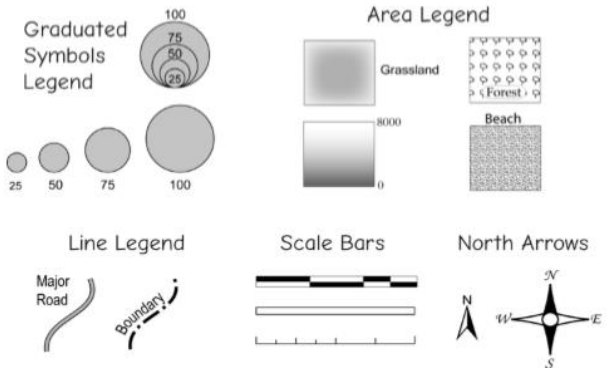
Gambar 4.22 : Opsi pelabelan umum, termasuk lurus, bersudut, teks yang dibungkus, dan label bertingkat untuk titik, (dua set teratas), dan label miring, terbungkus, depan, dan disematkan untuk fitur garis dan poligon (dua set terbawah).

Kita juga harus sering memilih apakah dan bagaimana memberi label fitur. Sebagian besar perangkat lunak GIS menyediakan berbagai alat untuk membuat dan menempatkan label, dan dalam semua kasus kita harus memilih jenis dan ukuran font label, lokasi relatif terhadap fitur, dan orientasi. Pertimbangan utama saat memberi label fitur titik adalah penempatan label relatif terhadap lokasi titik, ukuran label, dan orientasi label. Kami juga dapat menggunakan label bertingkat, yaitu, mengubah ukurannya sesuai dengan beberapa variabel yang terkait dengan fitur titik. Misalnya, biasanya memiliki fitur yang lebih besar dan font label untuk kota-kota besar. Label dapat ditekuk, dimiringkan, atau dililitkan di sekitar fitur untuk meningkatkan kejelasan dan lebih efisien menggunakan ruang di peta.

Penempatan label sangat merupakan seni, dan seringkali ada banyak pengeditan individu yang diperlukan saat menempatkan dan mengukur label untuk peta yang sudah jadi. Sebagian besar perangkat lunak menyediakan penempatan label otomatis, biasanya ditentukan relatif terhadap lokasi fitur. Misalnya, seseorang dapat menentukan label di atas dan di sebelah kanan semua titik, atau label garis yang ditempatkan di atas fitur garis, atau label poligon yang ditempatkan di dekat pusat massa poligon. Namun, penempatan otomatis ini mungkin tidak memuaskan karena label mungkin tumpang tindih, label mungkin jatuh di area peta yang berantakan, atau fitur yang terkait dengan label mungkin ambigu. Beberapa perangkat lunak menyediakan opsi untuk penempatan label otomatis yang sederhana dan rumit, termasuk penghapusan otomatis atau pemindahan label yang tumpang tindih. Ini sering mengurangi pengeditan manual, tetapi terkadang meningkatkannya.

Kebanyakan peta harus memiliki legenda. Legenda mengidentifikasi fitur peta secara ringkas dan menggambarkan simbol yang digunakan untuk menggambarkan fitur tersebut. Legenda sering kali menyertakan atau dikelompokkan dengan informasi peta tambahan seperti bilah skala, panah utara, dan teks deskriptif. Kartografer harus memilih ukuran dan bentuk simbol deskriptif, serta jenis font, ukuran, dan orientasi untuk setiap simbol dalam legenda. Tujuan utamanya adalah memiliki legenda yang jelas, ringkas, dan lengkap.

Jenis simbol yang sesuai untuk legenda peta tergantung pada jenis fitur yang digambarkan. Pilihan berbeda tersedia untuk fitur titik, garis, dan poligon, atau untuk fitur variabel kontinu yang disimpan sebagai raster. Kebanyakan perangkat lunak menyediakan berbagai elemen legenda dan simbol yang dapat digunakan. Biasanya alat ini memungkinkan berbagai simbolisasi, dan cara yang ringkas untuk menggambarkan simbolisasi dalam legenda.



Gambar 4.23: Contoh elemen legenda dan representasi simbol. Beberapa simbol dapat dikelompokkan dengan cara yang kompak untuk mengkomunikasikan nilai yang terkait dengan setiap simbol, misalnya, lingkaran bertingkat berurutan atau Nested untuk mewakili ukuran populasi kota, pola area atau isian warna untuk membedakan fitur poligon yang berbeda, simbol garis dan titik, dan informatif elemen seperti bilah skala dan panah utara.

Tata letak khusus dari fitur legenda harus ditentukan; misalnya, ukuran simbol fitur titik dapat digradasi berdasarkan beberapa atribut untuk titik. Fitur-fitur yang lebih besar secara berurutan dapat ditetapkan untuk kota-kota yang lebih besar secara berurutan. Ini harus dicatat dalam legenda, dan simbol-simbolnya Nested, ditampilkan secara berurutan, atau digambarkan secara lain (Gambar kiri atas).

Legenda itu harus lengkap. Contoh dari setiap jenis simbol berbeda yang muncul di peta harus muncul di legenda. Ini berarti setiap simbol titik, garis, atau area digambar dalam legenda dengan beberapa label deskriptif. Label mungkin berada di samping dililitkan, atau disematkan di dalam fitur, dan terkadang angka deskriptif ditambahkan, misalnya, serangkaian variabel kontinu (Gambar kiri atas). Bilah skala, panah utara, dan kotak teks deskriptif biasanya disertakan dalam legenda.

Elemen peta ini harus ditempatkan dan diberi ukuran sesuai dengan kepentingannya. Panel data peta yang paling penting harus yang terbesar, dan sering kali dipusatkan atau diberi dominasi visual. Elemen lain biasanya lebih kecil dan terletak di sekitar pinggiran atau disematkan di dalam panel data utama. Elemen lain ini mencakup sisipan peta, yang merupakan panel data yang lebih kecil yang memperlihatkan tampilan skala wilayah yang lebih besar atau lebih kecil di panel data utama. Komposisi peta yang baik biasanya mengelompokkan elemen terkait dan menggunakan ruang kosong secara efektif. Panel data sering kali dikelompokkan dan elemen legenda ditempatkan berdekatan, dan pengelompokan sering ditunjukkan dengan kotak penutup.

Kartografer pemula harus menghindari dua kecenderungan dalam komposisi peta. Pertama, umumnya mudah untuk membuat peta dengan label otomatis serta pembuatan dan penempatan legenda. Label saling berkerumun, ambigu, dan melintasi perairan/darat atau batas fitur lainnya, dan font tidak dipilih dengan baik. Anda harus memperhatikan bahwa pemilihan dan penempatan simbol peta otomatis hampir selalu kurang optimal, dan kartografer pemula harus meneliti pilihan ini dan memperbaikinya secara manual.

Kesalahan umum kedua adalah penggunaan ruang kosong yang buruk, bagian-bagian peta tanpa elemen peta. Ada dua kecenderungan yang berlawanan: meninggalkan ruang kosong yang terlalu banyak atau tidak seimbang, atau mengacaukan peta dalam upaya untuk mengisi semua ruang kosong. Kartografer dapat mengatasinya dengan beberapa cara: dengan mengubah ukuran, bentuk, atau luas area yang dipetakan; dengan menambahkan fitur baru, seperti panel data sebagai sisipan, kotak teks tambahan, atau elemen lainnya; atau dengan memindahkan legenda atau elemen peta lainnya ke ruang itu. Ruang kosong lebih seimbang karena muncul di sekitar elemen peta utama dalam proporsi yang kira-kira sama.

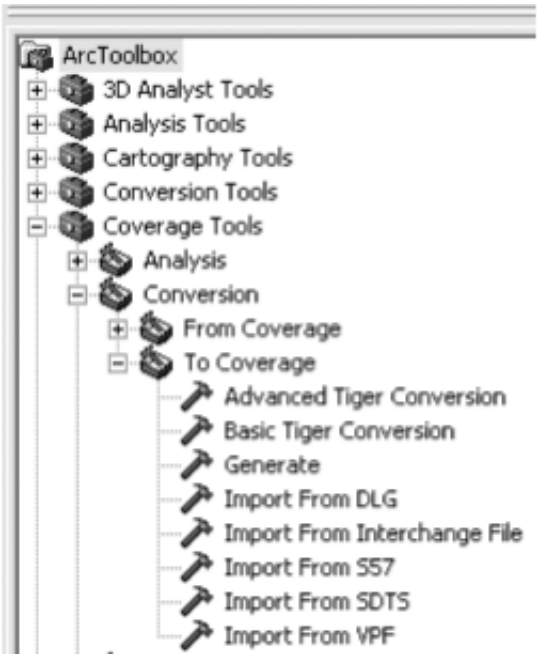
Seperti disebutkan sebelumnya, ini hanyalah pengantar singkat untuk kartografi, subjek yang dicakup oleh banyak buku bagus. Mungkin ringkasan contoh terbaik adalah Seri Buku Peta, oleh ESRI, yang diterbitkan setiap tahun sejak 1984. Contoh-contoh tersedia pada saat penulisan ini di www.esri.com/mapmuseum. Anda harus membolak-balik beberapa volume

dalam seri ini, dengan memperhatikan desain peta yang kritis. Setiap volume berisi banyak peta yang indah dan informatif, dan memberikan teknik yang layak untuk ditiru.

4.4.2 Output Data Digital

Kita sering harus mentransfer data digital yang kita buat ke pengguna lain, atau menggunakan data yang dikembangkan oleh orang lain. Mengingat jumlah perangkat lunak GIS, sistem operasi, dan jenis komputer yang berbeda, mentransfer data tidak selalu merupakan proses yang mudah.

Output data digital biasanya mencakup dua komponen, data itu sendiri dalam beberapa standar, format yang ditentukan, dan metadata, atau data tentang data digital. Kami akan menjelaskan format data dan metadata secara bergantian. Data digital adalah data dalam beberapa bentuk elektronik. Ada banyak format file, atau cara pengkodean data spasial dan atribut dalam file digital. Output data digital sering kali terdiri dari perekaman atau pengubahan data menjadi salah satu format file ini. Data ini biasanya dikonversi dengan utilitas, alat, atau opsi yang tersedia dalam perangkat lunak pengembangan data. Utilitas yang paling berguna ini mendukung berbagai pilihan input dan output, masing-masing dijelaskan secara lengkap dalam dokumentasi program.



Gambar 4.24 : Contoh utilitas konversi, di sini dari perangkat lunak ESRI ArcGIS. Tanggal dapat dikonversi dari salah satu dari beberapa format menjadi data digital khusus ESRI.

Semua format berusaha untuk transfer data lengkap tanpa kehilangan. Mereka harus mengirimkan data spasial dan atribut, metadata, dan semua informasi lain yang diperlukan untuk menggunakan data spasial secara efektif. Ada banyak format output data digital, meskipun banyak juga format lawas yang digunakan dengan frekuensi yang semakin menurun.

Format kontemporer yang umum adalah Geographic Markup Language (GML). Ini adalah perpanjangan dari XML untuk fitur geografis; XML pada gilirannya adalah lingua franca untuk dokumen yang dapat dibaca manusia / mesin. Seperti kebanyakan XML, ada dua bagian untuk set data GML, skema yang mendeskripsikan dokumen, dan dokumen yang berisi data

geografis. GML adalah standar, tetapi bisa ada banyak ekstensi, sehingga komunitas pengguna dapat memperluas standar dengan fitur tambahan, dan mendokumentasikan ekstensi dengan cara standar. GML dijelaskan sepenuhnya di http://www.opengeospatial.org/standards/gml.

Ada banyak format transfer data digital lama yang banyak digunakan sebelum GML. GML menggantikan standar yang ditarik, Standar Transfer Data Spasial., SDTS, dengan penerjemah yang tersedia untuk atau dari format lama ini. Ada beberapa format Survei Geologi A.S. untuk transfer model elevasi digital atau data vektor digital, atau format khusus perangkat lunak, seperti format ASCII yang dikenal sebagai format GEN / UNGEN yang dikembangkan oleh ESRI. Ini berguna untuk set transfer terbatas, tetapi kekurangan di masing-masing format transfer ini menyebabkan pengembangan standar berikutnya. Format ini tidak umum, tetapi terkadang muncul saat mengonversi arsip atau kumpulan data lama lainnya.

4.4.3 Metadata: Dokumentasi Data

Metadata adalah informasi tentang data spasial. Metadata menggambarkan konten, sumber, garis keturunan, metode, pengembang, sistem koordinat, luas, struktur, akurasi spasial, atribut, dan organisasi yang bertanggung jawab untuk data spasial.

Metadata diperlukan untuk penggunaan data spasial yang efektif. Metadata memungkinkan transfer informasi yang efisien tentang data, dan menginformasikan pengguna baru tentang jangkauan geografis, sistem koordinat, kualitas, dan karakteristik data lainnya. Organisasi bantuan metadata dalam mengevaluasi data untuk menentukan apakah mereka cocok untuk penggunaan yang dimaksudkan - apakah mereka cukup akurat, apakah mencakup bidang yang diminati, apakah mereka memberikan informasi yang diperlukan? Metadata juga dapat membantu dalam pembaruan data dengan memandu pilihan metode dan format pengumpulan yang sesuai untuk data baru.

CSDGM memastikan bahwa data spasial dijelaskan dengan jelas sehingga dapat digunakan secara efektif dalam suatu organisasi. Penggunaan CSDGM juga memastikan bahwa data dapat dijelaskan ke organisasi lain dengan cara standar, dan bahwa data spasial dapat lebih mudah dievaluasi dan ditransfer ke organisasi lain. CSDGM terdiri dari sekumpulan elemen standar yang disajikan dalam urutan tertentu. Standar ini lengkap dalam informasi yang diberikannya, dan fleksibel karena dapat diperluas untuk memasukkan elemen baru untuk kategori informasi baru di masa depan. Ada lebih dari 330 elemen berbeda di CSDGM. Beberapa elemen ini berisi informasi tentang data spasial, dan beberapa elemen mendeskripsikan atau memberikan keterkaitan dengan elemen lain. Elemen memiliki standar nama panjang dan pendek dan disediakan dalam urutan standar dengan sistem penomoran hierarkis. Misalnya, koordinat pembatas paling barat dari kumpulan data adalah elemen 1.5.1.1, yang didefinisikan sebagai berikut:

1.5.1.1 Koordinat Batas Barat - koordinat paling barat dari batas cakupan yang dinyatakan dalam bujur.

Jenis : nyata

Domain : -180.0 < = Koordinat Batas Barat < 180,0

Nama Pendek : westbc

Sistem penomoran bersifat hierarkis. Di sini, 1 menunjukkan itu adalah informasi identifikasi dasar, 1,5 menunjukkan informasi identifikasi tentang domain spasial, 1,5.1 untuk koordinat pembatas, dan 1.5.1.1 adalah koordinat pembatas paling barat.

Ada 10 tipe dasar informasi dalam CSDGM:

1. Identifikasi, mendeskripsikan kumpulan data,
2. Kualitas data,
3. Organisasi data spasial,
4. Sistem koordinat referensi spasial,
5. Entitas dan atribut
6. Distribusi dan pilihan untuk mendapatkan kumpulan data,
7. Mata uang metadata dan pihak yang bertanggung jawab,
8. Kutipan,
9. Informasi periode waktu, digunakan dengan bagian lain untuk memberikan informasi temporal,
10. Organisasi atau kontak kontak.

CSDGM adalah standar konten dan tidak menentukan format metadata. Selama elemen disertakan, diberi nomor dengan benar, dan diidentifikasi dengan nilai yang benar yang menggambarkan kumpulan data, metadata dianggap sesuai dengan CSDGM. Indentasi dan spasi tidak ditentukan.

Namun, karena metadata mungkin cukup kompleks, ada sejumlah kesepakatan yang muncul dalam penyajian metadata. Konvensi ini berusaha untuk memastikan bahwa metadata disajikan dengan cara yang jelas dan logis kepada manusia, dan juga mudah dicerna oleh perangkat lunak komputer. Ada Standard Generalized Markup Language (SGML) untuk pertukaran metadata.

Metadata paling sering dibuat menggunakan alat perangkat lunak khusus. Meskipun metadata dapat diproduksi menggunakan editor teks, sistem penomoran, nama, dan konvensi lainnya sulit untuk diketik. Seringkali ada hubungan kompleks antara elemen metadata, dan beberapa elemen berulang atau berlebihan. Alat perangkat lunak dapat meringankan tugas entri metadata dengan mengurangi entri yang berlebihan, memastikan keterkaitan yang benar, dan memeriksa elemen untuk informasi yang kontradiktif atau kesalahan. Misalnya, alat entri metadata dapat memeriksa untuk memastikan batas paling barat adalah barat dari batas paling timur. Metadata paling mudah dan efektif diproduksi ketika pengembangannya diintegrasikan ke dalam alur kerja produksi data.

Meskipun tidak semua organisasi di seluruh dunia mematuhi standar metadata CSDGM, sebagian besar organisasi merekam dan mengatur deskripsi dan informasi penting lainnya tentang data mereka, dan banyak organisasi menganggap kumpulan data tidak lengkap jika tidak memiliki metadata. Semua unit pemerintah AS diwajibkan untuk mematuhi CSDGM saat mendokumentasikan dan mendistribusikan data spasial.

Banyak pemerintah nasional lainnya sedang mengembangkan standar metadata. Salah satu contohnya adalah standar metadata spasial yang dikembangkan oleh Australia and New Zealand Land Information Council (ANZLIC), yang dikenal sebagai ANZLIC Metadata Guidelines. ANZLIC adalah sekelompok perwakilan pemerintah, bisnis, dan akademis yang bekerja untuk

mengembangkan standar data spasial. Pedoman metadata ANZLIC mendefinisikan elemen inti metadata, dan menjelaskan cara menulis, menyimpan, dan menyebarkan elemen inti ini. Alat entri data, contoh, dan direktori data spasial telah dikembangkan untuk membantu penggunaan pedoman metadata spasial ANZLIC.

Ada upaya paralel untuk mengembangkan dan memelihara standar internasional untuk metadata. Standar tersebut dikenal sebagai Standar Internasional ISO 19115 untuk Metadata. Menurut Organisasi Standar Internasional, ISO 19115 “mendefinisikan skema yang diperlukan untuk menggambarkan informasi dan layanan geografis. Ini memberikan informasi tentang identifikasi, tingkat, kualitas, skema spasial dan temporal, referensi spasial, dan distribusi data geografis digital. Ada kebutuhan untuk merekonsiliasi standar metadata internasional dan nasional, karena mereka mungkin berbeda. Standar nasional mungkin memerlukan informasi yang tidak terkandung dalam standar internasional, atau sebaliknya. Pemerintah biasanya membuat profil metadata yang konsisten dengan standar internasional. Profil-profil ini menetapkan korespondensi antara elemen-elemen dalam standar yang berbeda, dan mengidentifikasi elemen-elemen profil internasional yang tidak ada dalam profil nasional.

Dimensi Lain, Alat Lain, Solusi Lain

Dua Dimensi Ketiga Yang Berbeda: Spasial Temporal dan Vertikal

Sejauh ini dalam pekerjaan GIS kami, meskipun menyakitkan, kami memiliki semua kekurangan dan tidak ada keuntungan dari kenyataan bahwa dunia (dan segala sesuatu di dalamnya) berada dalam empat dimensi. Kerugiannya muncul sebagian karena (1) Bumi kira-kira bulat—membutuhkan semua kerumitan proyeksi itu dalam bergerak dari tiga dimensi spasial ke nol, satu, atau dua dimensi—(2) hal-hal tiga dimensi lebih sulit untuk ditangani, jadi kami telah puas dengan "dataran datar" di mana tidak ada yang benar, dan (3) cukup sulit untuk mendapatkan kumpulan data yang tepat pada saat atau periode waktu tertentu—apalagi kumpulan data historis atau antisipatif.

4.5 KESIMPULAN

Entri data spasial adalah aktivitas umum bagi banyak pengguna GIS. Meskipun data dapat diperoleh dari beberapa sumber, peta adalah sumber yang umum, dan kehati-hatian harus diberikan untuk memilih tipe peta yang sesuai dan untuk menafsirkan peta dengan benar saat mengubahnya menjadi data spasial dalam SIG. Peta digunakan untuk entri data spasial karena beberapa karakteristik unik. Ini termasuk sejarah panjang produksi peta hardcopy kami, sehingga berabad-abad informasi spasial disimpan di sana. Selain itu, peta tidak mahal, tersedia secara luas, dan mudah dikonversi ke bentuk digital, meskipun prosesnya sering memakan waktu lama, dan mungkin mahal.

Peta biasanya diubah menjadi data digital melalui proses digitalisasi manual, di mana seorang analis manusia melacak dan mencatat lokasi fitur-fitur penting. Peta juga dapat didigitalisasi melalui perangkat pemindaian.

Kualitas data yang diperoleh dari sebuah peta tergantung pada jenis dan ukuran peta, bagaimana peta itu dihasilkan, skala peta, dan metode yang digunakan untuk digitalisasi. Peta skala besar umumnya memberikan data posisi yang lebih akurat daripada peta skala kecil yang sebanding. Peta skala besar seringkali memiliki generalisasi peta yang lebih sedikit, dan

kesalahan horizontal kecil dalam merencanakan, mencetak, dan mendigitalkan diperbesar lebih sedikit selama konversi peta skala besar

Snapping, smoothing, vertex thinning, dan alat lainnya dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan kegunaan data digital. Metode ini digunakan untuk memastikan data posisi ditangkap secara efisien dan pada tingkat detail yang tepat.

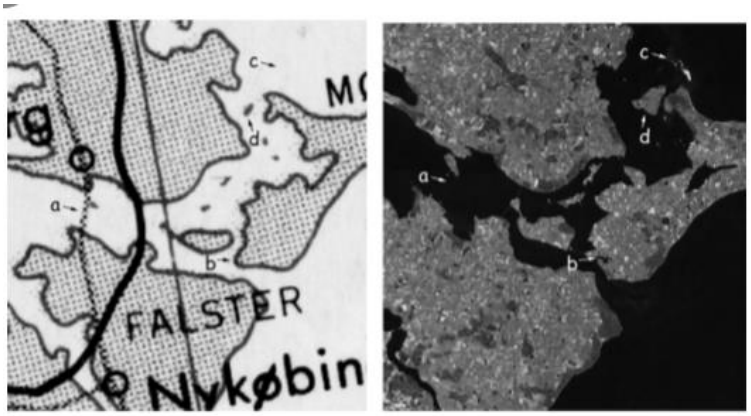
Peta dan data lainnya sering kali perlu dikonversi ke sistem koordinat target melalui transformasi peta. Transformasi berbeda dari proyeksi peta, di mana transformasi menggunakan proses empiris, kuadrat terkecil untuk mengubah koordinat dari satu sistem Cartesian ke sistem lainnya. Transformasi sering digunakan saat mendaftarkan data digital ke sistem koordinat yang diketahui. Transformasi peta tidak boleh digunakan ketika proyeksi peta diperlukan.

Kartografi merupakan aspek penting dari SIG, karena kami sering mengkomunikasikan informasi spasial melalui peta. Desain peta bergantung pada audiens target dan tujuan, pengaturan dan mode tampilan peta, dan sumber daya yang tersedia. Desain peta yang tepat mempertimbangkan skala, simbol, label, legenda, dan penempatan untuk mengkomunikasikan informasi yang diinginkan secara efektif.

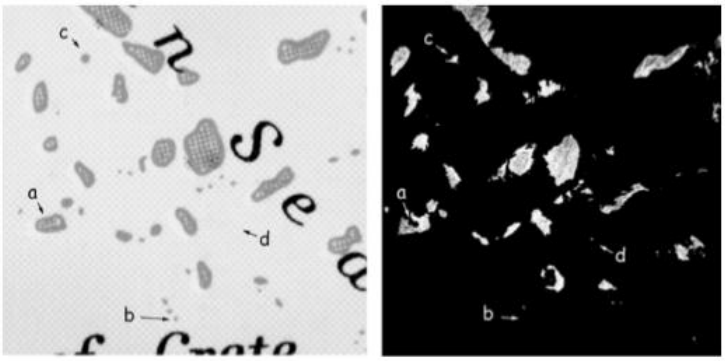
Metadata adalah “data tentang data”. Mereka menggambarkan isi, asal, bentuk, sistem koordinat, karakteristik spasial dan atribut data, dan informasi lain yang relevan tentang data spasial. Metadata memfasilitasi penggunaan, pemeliharaan, dan transfer data spasial yang tepat. Standar metadata telah dikembangkan, baik secara nasional maupun internasional, dengan profil yang digunakan untuk referensi silang elemen antar standar metadata. Metadata adalah komponen kunci dari data spasial, dan banyak organisasi tidak menganggap data lengkap sampai metadata dibuat.

4.6 Soal Latihan

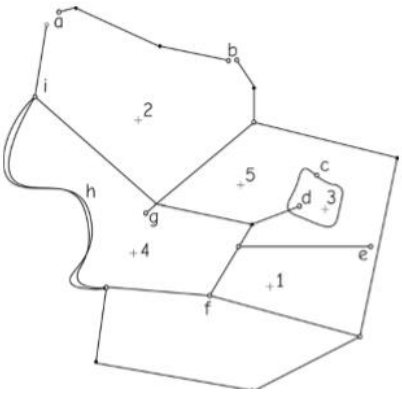
1. Manakah peta skala besar,
    a. 1: 5.000, atau
    b. 1: 15.000?
    c. 1: 1.000.000, atau
    d. 1 cm sampai 1 km?
    e. 5: 1, atau f) 1: 1?
2. Manakah peta skala besar,
    a. 1:20.000 atau
    b. 1:1.000.000?
    c. 1 inci sama dengan 1 mil, atau
    d. 1:100,000
    e. 1 mm hingga 1 km, atau
    f. 1: 1.500.000
3. Jelaskan tiga jenis generalisasi yang berbeda.
4. Identifikasi jenis generalisasi di lokasi berlabel a sampai d pada peta di bawah, kiri, dibandingkan dengan "kebenaran" pada gambar, di kanan bawah. Kategorikan generalisasi sebagai menyatu, disederhanakan, dipindahkan, dihilangkan, atau dilebih-lebihkan.



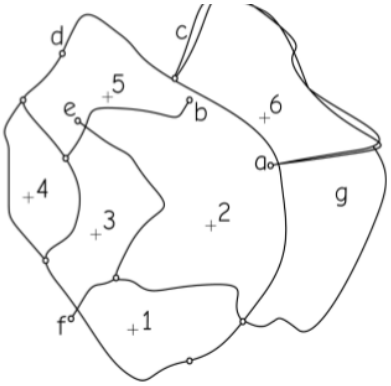
5. Identifikasi jenis generalisasi di lokasi berlabel a sampai d pada peta di bawah, kiri, dibandingkan dengan "kebenaran" pada gambar, di kanan bawah. Kategorikan generalisasi sebagai menyatu, disederhanakan, dipindahkan, dihilangkan, atau dilebih-lebihkan; atau jika tidak sesuai dengan salah satu kategori ini, kategorikan sebagai "lainnya", dan jelaskan generalisasinya.



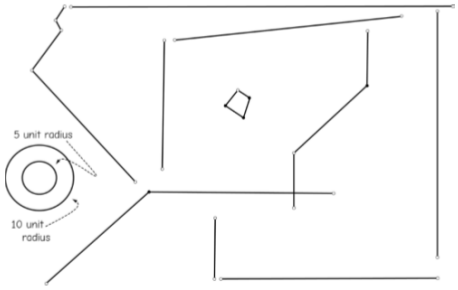
6. Media peta apa yang paling umum? Mengapa?
7. Apakah deformasi media lebih bermasalah dengan peta skala besar atau peta kertas skala kecil? Mengapa?
8. Peta mana yang biasanya menunjukkan lebih banyak detail - peta skala besar atau peta skala kecil? Bisakah Anda memberikan tiga alasan mengapa?
9. Apa yang dimaksud dengan snap dalam konteks digitalisasi? Apa itu undershoot dan overshoot, dan mengapa tidak diinginkan?
10. Identifikasi ciri khas atau kesalahan dalam digitasi pada setiap lokasi huruf berlabel pada gambar di bawah ini; misalnya, node, overshoot, missing label, dll .:



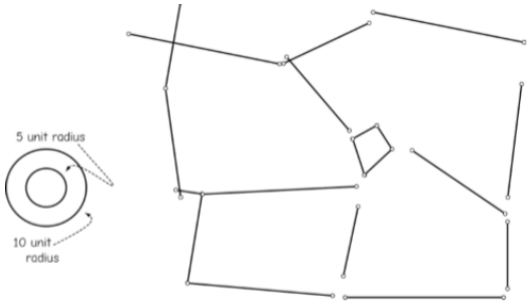
11. Identifikasi ciri khas atau kesalahan dalam digitasi pada setiap lokasi huruf berlabel pada gambar di bawah ini; misalnya, node, overshoot, missing label, dll .:



12. Sketsa hasil gabungan simpul (lingkaran terbuka), simpul (lingkaran tertutup), dan tepi (garis) gertakan dengan toleransi jepretan a) jarak 5 satuan, dan b) jarak 10 satuan, seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran jepret. Perhatikan jari-jari dan bukan diameter lingkaran ini yang menentukan jarak gertakan.



13. Sketsa hasil gabungan simpul (lingkaran terbuka), simpul (lingkaran tertutup), dan tepi (garis) gertakan dengan toleransi jepretan a) jarak 5 satuan, dan b) jarak 10 satuan, seperti yang ditunjukkan oleh lingkaran jepret. Perhatikan jari-jari dan bukan diameter lingkaran ini yang menentukan jarak gertakan.



14. 4.16 - Apa itu splines, dan bagaimana cara menggunakannya selama digitalisasi?
15. Jelaskan soal dibawah ini :
    a. Mengapa penipisan garis terkadang diperlukan?
    b. Apakah peningkatan lebar pita pengencer garis cenderung menambah, mengurangi, atau tidak mempengaruhi jumlah titik yang dihilangkan?
    c. Apakah peningkatan jumlah titik yang awalnya direntang cenderung meningkatkan, menurunkan, atau tidak mempengaruhi jumlah titik yang dihilangkan?

16. Bandingkan antara digitalisasi manual dengan berbagai bentuk digitalisasi pindai. Apa kelebihan dan kekurangan masing-masing?
17. Apa yang dimaksud dengan "masalah fitur umum" saat digitalisasi, dan bagaimana cara mengatasinya?
18. Jelaskan tujuan umum dan proses pendaftaran peta.
19. Apa itu titik kontrol, dan dari mana asalnya?
20. Tentukan transformasi affine, termasuk bentuk rumusnya. Mengapa disebut transformasi linier?
21. Apa akar mean square error (RMSE), dan bagaimana hubungannya dengan transformasi koordinat?
22. Apakah kesalahan posisi rata-rata kemungkinan besar lebih besar, lebih kecil, atau hampir sama dengan RMSE? Mengapa?
23. Mengapa proyeksi tingkat tinggi (polinomial) harus dihindari dalam banyak situasi?
24. Manakah dari transformasi berikut yang kemungkinan memiliki kesalahan rata-rata terkecil pada sekumpulan titik uji independen?
    a. afin, RMSE = 14,23
    b. afina, RMSE = 9,8
    c. polinomial orde dua, RMSE = 9,7
    d. polinomial orde tiga, RMSE = 6,45
25. Manakah dari transformasi berikut yang kemungkinan memiliki kesalahan rata-rata terkecil pada sekumpulan titik uji independen?
    a. polinomial orde satu, RMSE = 5,3
    b. afin, RMSE = 9,8
    c. polinomial orde dua, RMSE = 4,9
    d. polinomial orde satu, RMSE = 9,9
26. Mendefinisikan dan menjelaskan metadata. Mengapa metadata penting?

Daftar Pustaka

Aronoff, S. (1989). Geographic Information Systems, A Management Perspective. Ottawa: WDL Publications.

Bolstad, P., Gessler, P., Lillesand, T.M. (1990). Positional uncertainty in manually digitized map data. International Journal of Geographical Information Systems, 4:399–412.

Burrough, P.A., Frank, A.U. (1996). Geographical Objects with Indeterminate Boundaries. London: Taylor & Francis.

Chrisman, N.R. (1984). The role of quality information in the long-term functioning of a geographic information system. Cartographica, 21:79–87.

Chrisman, N.R. (1987). Efficient digitizing through the combination of appropriate hardware and software for error detection and editing. International Journal of Geographical Information Systems, 1:265–277.

DeMers, M. (2000). Fundamentals of Geographic Information Systems (2nd ed.). New York: Wiley.

Douglas, D.H., Peuker, T.K. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. Canadian Cartographer, 10:112–122.

Gesch, D., Oimoen, M., Greenlee, S., Nelson, C,. Steuck, M., Tyler C., (2002). The National Elevation Dataset. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68:5–32.

Holroyd, F., Bell, S.B.M. (1992). Raster GIS: Models of raster encoding. Computers and Geosciences, 18:419–426.

Joao, E. M. (1998). Causes and Consequences of Map Generalization. London: Taylor & Francis.

Laurini, R., Thompson, D. (1992). Fundamentals of Spatial Information Systems. London: Academic Press.

Maquire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. (Eds.). (1991). Geographical Information Systems: Principles and Applications. Harlow: Longman Scientific.

McBratney, A.B., Santos, M.L.M., Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. Geoderma, 117:3–52.

Muehrcke, P.C., Muehrcke, J.P. (1992). Map Use: Reading, Analysis, and Interpretation (3rd ed.).

Madison: J.P. Publications. Nagy, G., Wagle, S.G. (1979). Approximation of polygonal maps by cellular maps. Communications of the Association of Computational Machinery, 22:518–525.

Peuquet, D.J. (1984). A conceptual framework and comparison of spatial data models, Cartographica, 21:66–113.

Peuquet, D.J. (1981). An examination of techniques for reformatting digital cartographic data. Part II: the raster to vector process. Cartographica, 18:21–33.

Peuker, T. K., Chrisman, N. (1975). Cartographic data structures. The American Cartographer, 2:55–69.

Shaeffer, C.A., Samet, H., Nelson R.C. (1990). QUILT: a geographic information system based on quadtrees. International Journal of Geographical Information Systems, 4:103–132.

Shea, K.S., McMaster, R.B. (1989). Cartographic generalization in a digital environment: when and how to generalize. Proceedings AutoCarto 9, 56–67.

Warner, W. Carson, W. (1991). Errors associated with a standard digitizing tablet. ITC Journal, 2:82–85.

Weibel, R. (1997). Generalization of spatial data: principles and selected algorithms. In van Kreveld, M., Nievergelt, J., Roos, T., Widmayer, P., eds. Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems. Berlin: Springer-Verlag.

Wolf, P.R., C. Ghilani (2002). Elementary Surveying, an Introduction to Geomatics (10th ed.). New Jersey: Prentice-Hall.

Zeiler, M. (1999). Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design. Redlands: ESRI Press

BAB 5
SISTEM SATELIT NAVIGASI GLOBAL DAN SURVEI KOORDINAT

5.1 Pendahuluan

Secara luas, ada dua cara mendefinisikan Sistem satelit, yang pertama menggunakan pengukuran lapangan. Kami melakukan perjalanan ke fitur dan secara fisik menempati lokasi untuk mengukur koordinat X, Y, dan sering Z yang tidak diketahui. Sistem penentuan posisi dan pengukuran telah menjadi sangat canggih, menggabungkan teknologi satelit dan laser, terutama Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS), serta metode survei tanah tradisional. Pengukuran lapangan mungkin akurat hingga dalam milimeter (persepuluh inci).

Kumpulan kedua teknik pengukuran lokasi menggunakan pengumpulan data jarak jauh, terutama dari *gambar* udara dan satelit. Posisi koordinat dapat diperoleh hingga beberapa sentimeter (inci) dari gambar yang dikumpulkan dengan benar dan diproses dengan hati-hati.

GNSS adalah teknologi berbasis satelit yang memberikan informasi posisi yang tepat, siang atau malam, di sebagian besar kondisi cuaca dan medan. Teknologi GNSS dapat membantu menavigasi dan melacak objek bergerak yang cukup besar untuk membawa penerima. Penerima menyusut dalam ukuran, berat, dan kebutuhan daya setiap tahun.

Gambar 5.1 : Gambar satelit Galileo oleh seniman, bagian dari konstelasi 30-satelit yang direncanakan di jantung sistem navigasi satelit yang dipimpin Uni Eropa (milik Lockheed Martin).

Survei koordinat meliputi survei tradisional melalui pengukuran sudut dan jarak. Survei koordinat sering dikombinasikan dengan pengukuran GNSS yang tepat. Karena kedua metode pengukuran itu penting, pertama dengan menjelaskan GNSS dan alat dan metode survei koordinat, dan kemudian membahas aplikasi umum.

5.1.1 GPS dan GIS

Dalam bab sebelumnya, Anda belajar sedikit tentang Sistem Penentuan Posisi Global NAVSTAR. Mari kita telusuri beberapa alasan utama untuk menjadikan GPS sebagai sumber data utama GIS.

- *Ketersediaan*—pada tahun 1995, Departemen Pertahanan AS (DoD/Department of Defense) menyatakan NAVSTAR memiliki “kemampuan operasional akhir.” Jika diterjemahkan, ini berarti bahwa Departemen Pertahanan telah berkomitmen untuk mempertahankan kemampuan NAVSTAR untuk warga sipil pada tingkat yang ditentukan oleh hukum, untuk masa mendatang, setidaknya di masa damai. Oleh karena itu, mereka yang memiliki penerima sinyal GPS dapat menemukan posisinya di mana saja di bumi.
- *Akurasi*—GPS memungkinkan pengguna mengetahui informasi posisi dengan mudah dan dengan akurasi yang luar biasa. Receiver memungkinkan Anda menemukan diri Anda dalam jarak 2 hingga 4 meter dari posisi Anda yang sebenarnya. (Dan dengan menggunakan dua penerima GPS, ketika salah satunya diposisikan di atas titik yang diketahui (disurvei secara akurat), pengguna bisa mendapatkan akurasi 1 hingga 3 meter.) Setidaknya dua faktor menyebabkan akurasi tersebut:
    - Pertama, dengan GPS, kita bekerja dengan sumber data primer. Pertimbangkan dua alternatif untuk menggunakan GPS untuk menghasilkan data spasial: digitalisasi fisik dan digitalisasi awal di layar komputer. Digitizer pada dasarnya adalah tabel gambar elektronik, di mana operator menelusuri garis atau memasukkan titik dengan "menunjuk" —dengan "garis bidik" yang tertanam dalam "keping" plastik bening — pada fitur di map. Atau, dalam digitalisasi awal, operator memanipulasi garis bidik pada layar komputer dengan mouse.
    - Orang dapat menganggap bahwa bagian berbasis dasar dari sistem GPS dan digitizer saling analog: permukaan bumi adalah tablet digitalisasi, dan antena penerima GPS berperan sebagai garis bidik, menelusuri, misalnya, jalan. Tetapi pembuatan data dengan GPS dilakukan dengan merekam posisi pada entitas paling mendasar yang tersedia: bumi itu sendiri, dibanding pada map atau foto bagian bumi yang diturunkan melalui proses yang mungkin melibatkan beberapa transformasi.
    - Kedua, GPS sendiri memiliki akurasi inheren yang tinggi. Ketepatan digitizer mungkin 0,1 milimeter (mm). Pada skala peta 1: 24.000, ini berarti 2,4 meter (m) di atas tanah. Jarak 2,4 m sebanding dengan keakuratan yang diharapkan dari data yang dikoreksi dengan benar dari penerima GPS berkualitas menengah. Akan sulit untuk mengeluarkan ini dari proses digitalisasi. Sebuah jalan sekunder di map kita mungkin diwakili oleh garis selebar lima kali dari ketepatan digitizer (lebar 0,5 mm), memberikan jarak di tanah 12 m, atau sekitar 40 kaki.
    - Satu map skala besar, tentu saja, presisi yang diperoleh dari digitizer dapat melebihi yang diperoleh dari jenis penerima GPS yang biasa digunakan untuk memasukkan data ke dalam GIS. Pada "map skala 200" (di mana 1 inci setara dengan 200 kaki di tanah), 0,1 mm berarti jarak kira-kira seperempat meter, atau kurang dari satu kaki. Meskipun jarak ini masih dalam jangkauan kemampuan GPS, peralatan untuk memperoleh keakuratan tersebut mahal dan biasanya digunakan untuk survei, dibanding untuk analisis spasial GIS umum dan kegiatan pembuatan map. Singkatnya, jika Anda bersedia

membayarnya, pada akurasi yang ekstrem, GPS menang atas semua metode lainnya. Surveyor tahu bahwa GPS dapat memberikan akurasi horizontal dunia nyata kurang dari satu sentimeter.

- *Kemudahan penggunaan* — Siapa pun yang dapat membaca koordinat dan menemukan posisi yang sesuai di map dapat menggunakan GPS receiver. Posisi tunggal yang diturunkan biasanya akurat dalam jarak 4 meter atau lebih. Mereka yang ingin mengumpulkan data yang cukup akurat untuk GIS harus melibatkan diri dalam prosedur yang lebih kompleks, tetapi tugasnya tidak lebih sulit daripada beberapa operasi GIS.
- *Titik data GPS secara inheren adalah tiga dimensi*—selain memberikan garis lintang-bujur (atau informasi "horizontal" lainnya), GPS receiver juga dapat memberikan informasi ketinggian. Faktanya, kecuali benda itu memberikan informasi ketinggian itu sendiri, harus diberi tahu ketinggiannya untuk mengetahui lokasinya di bidang horizontal. Keakuratan data GPS tiga dimensi biasanya tidak sebesar akurasi horizontal. Sebagai aturan praktis, varians dalam akurasi horizontal harus dikalikan dengan 1,5 (dan mungkin sebanyak 3,0) untuk mendapatkan perkiraan akurasi vertikal.

5.1.2 Anatomi Singkatan: GPS

Global Anywhere on Earth — Yah, hampir di mana saja, tetapi tidak (atau tidak juga):

- Di dalam gedung
- Bawah tanah
- Dalam curah hujan yang sangat parah
- Di bawah kanopi pohon yang basah dan berat
- Di sekitar transmisi radio yang kuat
- Di "ngarai perkotaan" di antara gedung-gedung tinggi
- Dekat antena pemancar radio yang kuat

Atau di mana pun yang tidak memiliki pandangan sebagian besar ke langit secara langsung. Gelombang radio yang dipancarkan satelit GPS memiliki panjang yang sangat pendek — sekitar 20 cm. Gelombang dengan panjang ini bagus untuk pengukuran karena mengikuti jalur yang sangat lurus, tidak seperti gelombang yang lebih panjang, seperti gelombang radio pita AM dan FM yang mungkin sangat bengkok. Sayangnya, gelombang pendek juga tidak menembus materi dengan baik, sehingga pemancar dan penerima sebaiknya tidak memiliki banyak materi padat di antaranya, atau gelombang terhalang karena gelombang cahaya memang mudah terhalang.

Pemosisian—Menjawab pertanyaan manusia baru dan kuno: Di mana saya? Seberapa cepat saya bergerak dan ke arah mana? Arah mana yang harus saya tuju untuk mencapai beberapa lokasi tertentu lainnya, dan berapa lama waktu yang dibutuhkan dengan kecepatan saya saat ini untuk sampai ke sana? Dan, yang terpenting untuk GIS, kemana saja saya? Untuk mengumpulkan data GIS dengan GPS, seseorang menggerakkan antena penerima di sekitar area bumi, meninggalkan jejak titik-titik dalam memori penerima, yang kemudian ditransfer ke perangkat lunak GIS.

Sistem—Merupakan kumpulan komponen dengan koneksi (tautan) di antaranya. Komponen dan tautan memiliki karakteristik. GPS dapat dibagi dengan cara berikut.

5.1.3 Bumi

Komponen utama pertama dari GPS adalah bumi itu sendiri: massa dan permukaannya, dan ruang tepat di atasnya. Massa bumi menahan satelit di orbit. Dari sudut pandang fisika, setiap satelit berusaha terbang melewati bumi dengan lintasan horizontal dengan kecepatan 4 kilometer per detik. Gravitasi bumi menarik satelit, sehingga jatuh secara vertikal. Lintasan pergerakan horizontal dan kejatuhan vertikalnya merupakan lintasan yang sejajar dengan lekukan permukaan bumi, sehingga tidak pernah menabrak. Semua satelit, termasuk bulan kita, memiliki prinsip yang sama.

Permukaan bumi dipenuhi dengan "monumen" kecil—penanda logam atau batu yang ditempatkan dengan hati-hati—yang koordinatnya diketahui dengan cukup akurat. Ini terletak pada "graticule numerik," yang kita semua sepakati membentuk dasar untuk posisi geografis. Pengukuran dalam satuan graticule, dan berdasarkan posisi monumen, memungkinkan kita, melalui survei, untuk menentukan posisi benda apapun yang kita pilih di permukaan bumi.

5.1.4 Satelit yang Mengitari Bumi

Desain GPS setiap negara membutuhkan total setidaknya 24 dan hingga 32 pemancar radio bertenaga surya, membentuk konstelasi sedemikian rupa sehingga beberapa "terlihat" dari titik mana pun di bumi pada waktu tertentu. Yang pertama diluncurkan pada 22 Februari 1978. Pada pertengahan 1994 dua puluh empat melakukan siaran. "Konstelasi" minimum 24 mencakup tiga "suku cadang". Sebanyak 31 telah berdiri dan bekerja pada saat ini.

Satelit GPS berada di "ketinggian tengah" sekitar 11.000 mil laut (nm/nautical miles), atau kira-kira 20.400 kilometer (km) atau 12.700 mil statuta di atas permukaan bumi. Ini menempatkan mereka di atas ketinggian orbit standar pesawat ulang-alik sebelumnya, di atas sebagian besar satelit lain, dan di atas sebagian besar sampah luar angkasa yang telah terakumulasi. Mereka juga berada jauh di atas udara bumi, di mana mereka aman dari efek hambatan atmosfer. Ketika satelit GPS "mati", mereka dikirim ke luar orbit sekitar 600 mil lebih jauh, di mana mereka akan tetap berada di sana selamanya.

Satelit GPS berada di bawah satelit geostasioner, yang biasanya digunakan untuk komunikasi dan mengirim sinyal TV, telepon, dan sinyal lainnya kembali ke antena tetap yang ada di bumi. Satelit ini berada 35.763 kilometer (yaitu 19.299 mil laut atau 22.223 mil statita) di atas bumi, di mana mereka menggantung di atas khatulistiwa, menyampaikan sinyal dari dan ke stasiun yang ada di darat.

Satelit NAVSTAR bukanlah kutub atau ekuator, tetapi mengiris garis lintang Bumi sekitar 55°, melakukan satu revolusi setiap 12 jam. Selanjutnya, meskipun setiap satelit berada dalam orbit 12 jam, seorang pengamat di Bumi akan melihatnya naik dan terbenam sekitar empat menit lebih awal setiap hari. (Untuk penjelasan, gunakan peramban Anda untuk mencari hari matahari dan sidereal.) Ada empat hingga enam satelit dalam slot di masing-masing dari enam bidang orbit yang berbeda (berlabel A, B, C, D, E, dan F) berjarak 60 derajat. Orbitnya hampir persis melingkar.

Satelit GPS bergerak dengan kecepatan 3,87 kilometer per detik (8.653 mil per jam). Berbagai versi satelit telah berkembang selama bertahun-tahun. Mereka memiliki berat 1.100 hingga 2.200 kilogram (1 atau 2 ton) dan memiliki lebar sekitar 11,6 meter (sekitar 38 kaki) dengan panel surya diperpanjang. Panel tersebut menghasilkan daya sekitar 1.000 watt. Radio on

board mengudara dengan daya sekitar 40 watt. (Bandingkan dengan stasiun FM maksimum yang diizinkan dengan 50.000 watt.) Frekuensi radio yang digunakan untuk sinyal GPS sipil disebut "GPS L1" dan berada pada 1.575,42 megahertz (MHz). Setiap satelit memiliki empat jam atom (baik cesium atau rubidium) yang menjaga waktu sekitar 3 miliar detik atau lebih, memungkinkan pengguna di darat untuk menentukan waktu saat ini hingga sekitar 40 miliar detik.

5.1.5 Stasiun Darat

Sementara satelit GPS bebas dari tarikan atmosfer, jejaknya dipengaruhi oleh efek gravitasi bulan dan matahari, dan oleh angin matahari. Selanjutnya, mereka dijejali dengan peralatan elektronik. Oleh karena itu, baik jejak maupun bagian dalamnya memerlukan pengawasan. Ini dilakukan oleh empat stasiun darat di dekat khatulistiwa, yang tersebar di seluruh dunia. Setiap satelit melewati setidaknya satu stasiun pemantauan dua kali sehari. Informasi yang dikembangkan oleh stasiun pemantau ditransmisikan kembali ke satelit, yang pada gilirannya menyiarkan ulang ke penerima GPS. Subjek siaran satelit adalah kondisi elektronik satelit, bagaimana lintasan satelit bervariasi dari yang diharapkan, almanak untuk semua satelit saat ini, dan subjek lain yang lebih esoterik yang tidak perlu menjadi perhatian kita. Stasiun berbasis darat lainnya ada, terutama untuk mengunggah informasi ke satelit. Stasiun Kontrol Master GPS di Pangkalan Angkatan Udara Schriever dekat Colorado Springs, Colorado.

5.1.6 Penerima (Receiver)

Penerima/receiver GPS biasanya terdiri dari:

- Antena (yang posisinya dilaporkan oleh penerima)
- Elektronik untuk menerima sinyal satelit
- Komputer mikro untuk memproses data yang menghitung posisi antena dan untuk merekam nilai posisi
- Kontrol untuk memungkinkan pengguna memberikan masukan ke penerima
- Layar untuk menampilkan informasi

Unit yang lebih rumit memiliki memori komputer untuk menyimpan titik data posisi dan kecepatan antena. Informasi ini dapat diunggah ke komputer pribadi atau workstation, dan kemudian diinstal dalam basis data perangkat lunak GIS. Penjelasan lain tentang unit GPS dasar adalah kemampuan untuk menerima dan mengirimkan data ke penerima GPS lainnya — teknik yang disebut "GPS diferensial waktu-nyata" yang dapat digunakan untuk meningkatkan keakuratan pencarian posisi.

5.1.7 Produsen Receiver

Selain menjadi keajaiban teknik dan sangat bermanfaat bagi banyak orang yang peduli dengan masalah spasial serumit pertahanan nasional atau hal biasa seperti menemukan tempat memancing yang bagus, GPS juga merupakan bisnis besar.

“Tentu saja tidak ada cara untuk mengetahui apakah Anda sedang diawasi pada waktu tertentu. Seberapa sering, atau pada sistem apa, Polisi Pikiran yang menyambungkan kabel individu mana pun merupakan tebakan. Bahkan bisa dibayangkan bahwa mereka mengawasi semua orang sepanjang waktu. Tetapi bagaimanapun juga, mereka dapat menyambungkan kabel Anda kapan pun mereka mau. Anda harus hidup — benar-benar hidup, dari kebiasaan

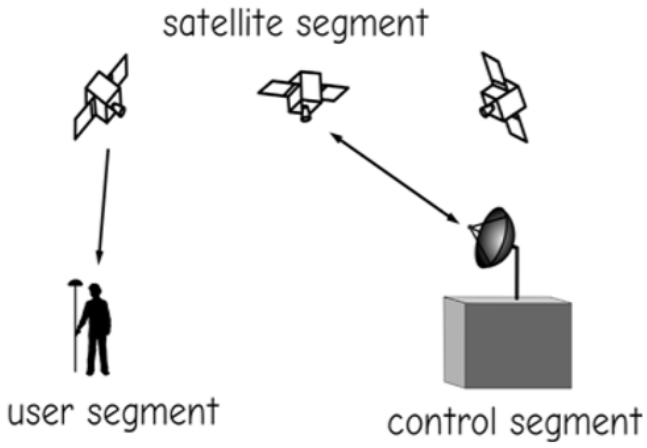
yang menjadi naluri — dengan asumsi bahwa setiap suara yang Anda buat didengar, dan, kecuali dalam kegelapan, setiap gerakan diamati ”

5.1.8 Dasar GNSS

Karena murah, akurat, dan mudah digunakan, GNSS telah mengubah survei, navigasi, pengiriman, dan bidang lainnya secara signifikan, dan juga berdampak luas dalam ilmu informasi geografis. GNSS telah menjadi metode yang paling umum untuk pengumpulan data lapangan di GIS.

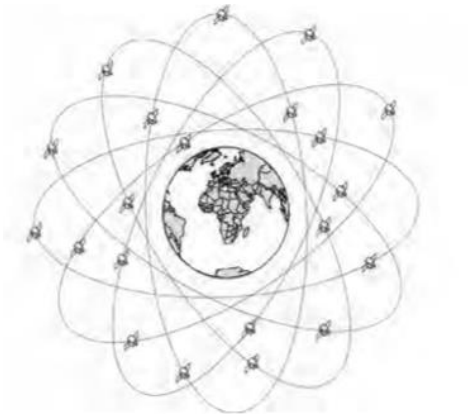
Pada 2015 ada dua sistem GNSS yang berfungsi dan tiga lagi dalam berbagai tahap pengembangan. Sistem Penentuan Posisi Global (GPS) NAVSTAR adalah yang pertama digunakan dan merupakan sistem yang paling banyak digunakan. Ada sistem operasional Rusia bernama GLONASS yang semakin banyak digunakan secara internasional; pada saat penulisan ini ada 24 satelit operasional dan beberapa cadangan di orbit, memberikan cakupan 24 jam yang lengkap di seluruh dunia. Sistem ketiga, Galileo, sedang dikembangkan oleh konsorsium pemerintah dan industri Eropa, dengan total rencana 30 satelit di konstelasi, dijadwalkan selesai pada 2018. Sistem keempat, Sistem Navigasi Satelit Kompas China, juga sedang dikembangkan. . Konstelasi penuh dari 30 satelit pemosisian telah direncanakan, dengan cakupan global. Ada sistem regional oleh pemerintah India (IRNSS), dengan tujuh satelit memberikan jangkauan ke Asia tengah-selatan, beroperasi pada 2015. Sistem regional untuk India dan Jepang juga sedang dikembangkan.

Perhatikan bahwa GPS biasanya mengacu pada sistem NAVSTAR A.S., tetapi digunakan secara luas sebagai istilah umum untuk GNSS karena ini adalah sistem navigasi satelit yang pertama kali digunakan secara luas. Dalam diskusi berikut kami menggunakan GNSS sebagai istilah umum untuk keempat sistem, dan menggunakan GPS untuk merujuk secara khusus ke sistem NAVSTAR A.S.



Gambar 5.2: Tiga segmen yang terdiri dari GNSS.

Ada tiga komponen utama, atau segmen, dari setiap GNSS. Yang pertama adalah segmen satelit. Ini adalah konstelasi satelit yang mengorbit Bumi dan memancarkan sinyal posisi. Komponen kedua dari GNSS adalah segmen kontrol. Ini terdiri dari fasilitas pelacakan, komunikasi, pengumpulan data, integrasi, analisis, dan kontrol. Bagian ketiga dari GNSS adalah segmen pengguna, penerima GNSS.



Gambar 5.3: Karakteristik orbit satelit untuk konstelasi GPS NAVSTAR.

Keterangan :

Segmen Satelit :

- 21 + satelit
- 6 pesawat orbital
- 12 jam interval kembali pada setiap satelit

Penerima adalah perangkat elektronik yang merekam data yang dikirimkan oleh setiap satelit, dan kemudian memproses data tersebut untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi. Ada beragam penerima dan metode yang menentukan posisi. Penerima paling sering kecil, perangkat genggam dengan layar dan keyboard, atau komponen elektronik yang dipasang di truk, pesawat, kontainer kargo, atau ponsel.

Gambar 5.4: Penerima GNSS genggam (kiri) dan penerima GNSS sedang digunakan (kanan), (milik Topcon, dan G. Johnson).

Segmen satelit dan kontrol berbeda untuk setiap GNSS. NAVSTAR GPS mencakup konstelasi satelit yang mengorbit Bumi pada ketinggian sekitar 20.000 km. Desain sistem awal termasuk 21 satelit GPS aktif dan tiga suku cadang, didistribusikan di antara enam bidang orbit offset. Setiap satelit mengorbit Bumi dua kali sehari, dan setiap satelit biasanya berada di atas cakrawala datar selama delapan jam atau lebih setiap hari. Satelit eksperimental dan operasional berturut-turut telah hidup lebih lama dari desain mereka, sehingga biasanya ada lebih dari 24 satelit di orbit secara bersamaan. Antara empat hingga delapan satelit aktif biasanya terlihat dari lokasi tampilan yang tidak terhalang di Bumi.

GPS dikendalikan oleh satu set stasiun bumi. Ini digunakan untuk mengamati, memelihara, dan mengelola satelit, komunikasi, dan sistem terkait. Ada lima stasiun pelacakan dalam sistem GPS. Data dikumpulkan dari sejumlah sumber oleh stasiun, termasuk kesehatan satelit dan status dari setiap satelit GPS, informasi pelacakan dari setiap stasiun pelacakan, data waktu dari Observatorium Angkatan Laut AS, dan data permukaan dari Badan Pemetaan Pertahanan AS. Stasiun Kontrol Master mensintesis informasi ini dan menyiarkan navigasi, pengaturan waktu, dan data lainnya ke setiap satelit. Stasiun Kontrol Utama juga memberi sinyal pada setiap satelit yang sesuai untuk koreksi arah, perubahan operasi, atau pemeliharaan lainnya.

Sistem GLONASS adalah GNSS lain yang sedang beroperasi. GLONASS diprakarsai oleh bekas Uni Soviet pada awal 1970-an. Satelit pertama kali diluncurkan pada awal 1980-an, dan sistem tersebut berfungsi pada pertengahan 1990-an. Sistem GLONASS dirancang untuk navigasi, penargetan, dan pelacakan militer, dan dioperasikan oleh Kementerian Pertahanan Rusia, dengan stasiun kontrol dan pelacakan yang mirip dengan sistem GPS NAVSTAR.

GLONASS dirancang untuk menyertakan 21 satelit aktif dan tiga cadangan. Desain baru telah diterapkan secara bertahap karena satelit yang lebih tua telah kedaluwarsa, dan manajer sistem telah berfokus untuk memaksimalkan jangkauan di atas Rusia. Sistem GLONASS cukup stabil, dengan rencana renovasi dan pemeliharaan yang dipublikasikan, sehingga produsen komersial telah mengembangkan receiver berkemampuan GPS / GLONASS ganda.

Galileo juga menerapkan segmen satelit, kontrol, dan pengguna. Ada 30 satelit yang direncanakan untuk konstelasi Galileo lengkap. Satelit tersusun dalam tiga jalur orbit dengan kemiringan orbit 54°, dengan ketinggian satelit mendekati 23.600 km di atas Bumi. Konstelasi satelit ini akan memberikan cakupan garis lintang utara yang lebih tinggi daripada sistem GPS NAVSTAR A.S., untuk melayani Eropa utara dengan lebih baik. Galileo akan dikelola melalui dua pusat kendali di Eropa dan 20 Stasiun Sensor Galileo yang tersebar di seluruh dunia untuk memantau, berkomunikasi, dan menyampaikan informasi antara satelit dan pusat kendali.

Sinyal Siaran GNSS Penentuan posisi GNSS didasarkan pada sinyal radio yang disiarkan oleh setiap satelit. Satelit GPS NAVSTAR disiarkan pada frekuensi dasar 10,23 MHz (MHz = Megahertz, atau jutaan siklus per detik). Satelit GPS juga menyiarkan pada frekuensi lain yang merupakan kelipatan bilangan bulat atau pembagi frekuensi dasar. Ada dua sinyal pembawa, L1 pada 1575,42 MHz dan L2 pada 1227,6 MHz. Sinyal pembawa ini dimodulasi untuk menghasilkan dua sinyal berkode, kode C / A pada 1,023 MHz dan kode P pada 10,23 MHz. Sinyal L1 membawa kode C / A dan P, sedangkan L2 hanya membawa kode P. Peningkatan terencana pada sistem GPS mencakup pita L tambahan berdaya tinggi yang dapat memberikan informasi tambahan dan lebih mudah diterima. Sinyal lain ini telah ditambahkan untuk meningkatkan fungsi, misalnya, L2C untuk memudahkan pelacakan GPS untuk navigasi, L5 untuk aplikasi keselamatan jiwa di seluruh dunia, dan M untuk aplikasi militer yang disempurnakan. Sinyal kode (C/A, P, dan M) kadang-kadang disebut sebagai kode pseudorandom, karena mereka tampak sangat mirip dengan noise acak. Namun, segmen pendek kode itu unik untuk setiap satelit dan waktu. Penerima menerjemahkan setiap sinyal untuk mengidentifikasi satelit, waktu transmisi, dan posisi satelit pada saat sinyal dikirim. Penerima menggabungkan informasi ini dari beberapa satelit untuk penentuan posisi. Sinyal berkode memang berulang, tetapi interval pengulangan cukup lama untuk tidak menyebabkan masalah dalam pemosisian.

Name	Frequency (MHz)
L1, L1C	1575.42
L2, L2CM, L2CL	1227.6
L5	1176.45
P, M	10.23
C/A	1.023

Gambar 5.5: Tabel sinyal GPS

Posisi berdasarkan pengukuran sinyal pembawa (frekuensi L1, L2, dan L5 untuk GPS NAVSTAR, dan terkadang disebut sebagai pengukuran fase pembawa) secara inheren lebih akurat daripada yang didasarkan pada pengukuran sinyal kode. Matematika dan fisika pengukuran pembawa lebih cocok untuk membuat pengukuran posisi. Namun, akurasi tambahan menimbulkan biaya. Pengukuran pembawa membutuhkan receiver yang lebih canggih dan mahal. Mungkin kendala yang lebih besar pada pengukuran operator adalah bahwa penerima operator harus merekam sinyal untuk periode waktu yang lebih lama daripada penerima kode C / A. Jika satelit melewati penghalang, seperti gedung, gunung, atau pohon, sinyal mungkin hilang untuk sementara dan pengukuran fase pembawa dimulai lagi. Sinyal satelit sering hilang di lingkungan yang sangat terhalang, secara substansial mengurangi efisiensi pengumpulan data fase pembawa. Batasan ini telah berkurang dengan receiver modern, seringkali melacak beberapa sistem GNSS dengan ratusan saluran, tetapi masih ada persyaratan yang lebih tepat untuk pemosisian fase operator.

Setiap satelit GPS juga menyiarkan data tentang status dan lokasi satelit. Informasi termasuk almanak, data yang digunakan untuk menentukan status satelit di konstelasi GPS. Siaran juga mencakup data ephemeris untuk konstelasi satelit. Ephemerides ini memungkinkan penerima GPS untuk secara akurat menghitung posisi satelit penyiaran dan posisi yang diharapkan dari satelit lain. Kesehatan satelit, koreksi jam, dan data lainnya juga dikirimkan.

Sistem GNSS lain beroperasi dengan cara yang sama, dengan frekuensi dasar, atau pembawa, dan sinyal termodulasi atau kode yang tertanam di dalam operator ini. GLONASS, satu-satunya GNSS yang beroperasi penuh pada tahun 2011, menyiarkan operator L1 dan L2 yang mirip dengan GPS, dan sinyal L1/L10 dan eksperimental G3 tambahan pada frekuensi yang lebih tinggi dan lebih rendah. Rencana Galileo mencakup siaran berbagai sinyal pada beberapa operator dasar, termasuk yang tumpang tindih dengan sinyal GPS dan GLONASS L1 pada sekitar 1575 MHz, dengan beberapa sinyal berkode direncanakan pada frekuensi yang lebih rendah.

Upaya substansial telah diarahkan untuk memastikan sistem NAVSTAR, GLONASS, dan Galileo tidak saling mengganggu, dan kompatibel dan praktis. Ketiga sistem akan disiarkan dalam rentang 1575 MHz, dengan sinyal yang dikodekan secara berbeda untuk menghindari interferensi. Ini menyederhanakan produksi penerima sistem ganda yang mampu menggunakan beberapa sinyal GNSS, meningkatkan cakupan, akurasi, dan efisiensi, terutama dalam kondisi pengumpulan data yang sulit. Ketika semua konstelasi GNSS beroperasi penuh, mungkin ada sebanyak 70 satelit yang mengudara dalam kisaran ini, sangat meningkatkan jangkauan.

Ada tumpang tindih yang mencolok dalam beberapa frekuensi yang digunakan oleh sistem Kompas berbasis Galileo dan Cina. Meskipun ada kemungkinan interferensi timbal balik dalam sinyal, kemungkinan sistem Kompas dan Galileo akan dioperasikan untuk menghindari hal ini.

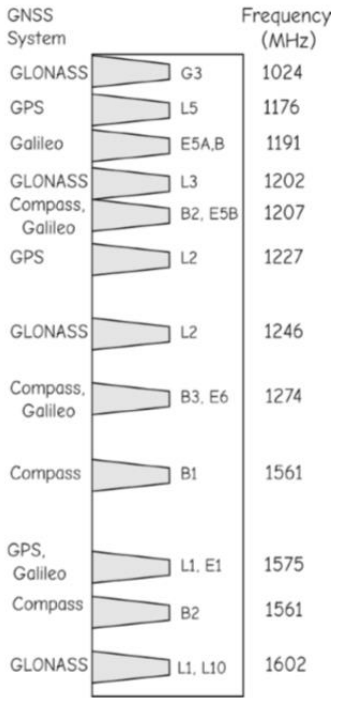
5.1.9 Rentang Jarak

Pemosisian GNSS didasarkan terutama pada jarak jangkauan yang ditentukan dari sinyal pembawa dan kode. Jarak range, atau range, adalah jarak antara dua objek. Untuk GNSS, jangkauan adalah jarak antara satelit di ruang angkasa dan penerima. Sinyal GNSS bergerak kira-kira dengan kecepatan cahaya. Jarak jangkauan dari receiver ke setiap satelit dihitung berdasarkan waktu tempuh sinyal dari satelit ke penerima:

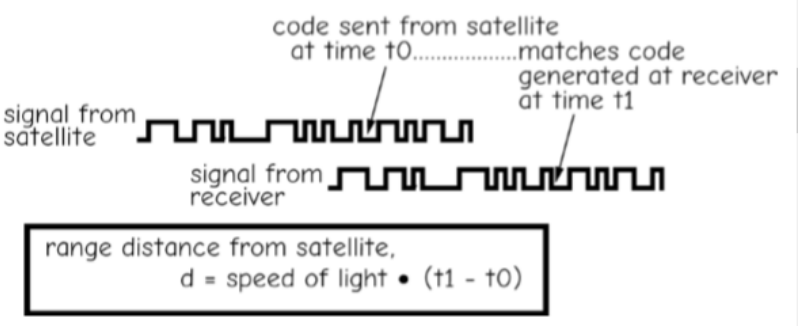
Range/jarak = kecepatan cahaya * waktu tempuh

Sinyal kode digunakan untuk menghitung waktu tempuh sinyal dengan mencocokkan bagian kode. Informasi pengaturan waktu dikirim dengan sinyal berkode, memungkinkan penerima GNSS menghitung waktu transmisi yang tepat untuk setiap fragmen kode. Penerima GNSS juga mengamati waktu penerimaan untuk setiap fragmen kode. Perbedaan antara waktu transmisi dan penerimaan adalah waktu tempuh, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak jarak. Pengukuran jarak dapat diulang dengan cukup cepat, biasanya hingga kecepatan satu per detik; oleh karena itu beberapa pengukuran jarak dapat dilakukan untuk setiap satelit dalam waktu singkat.

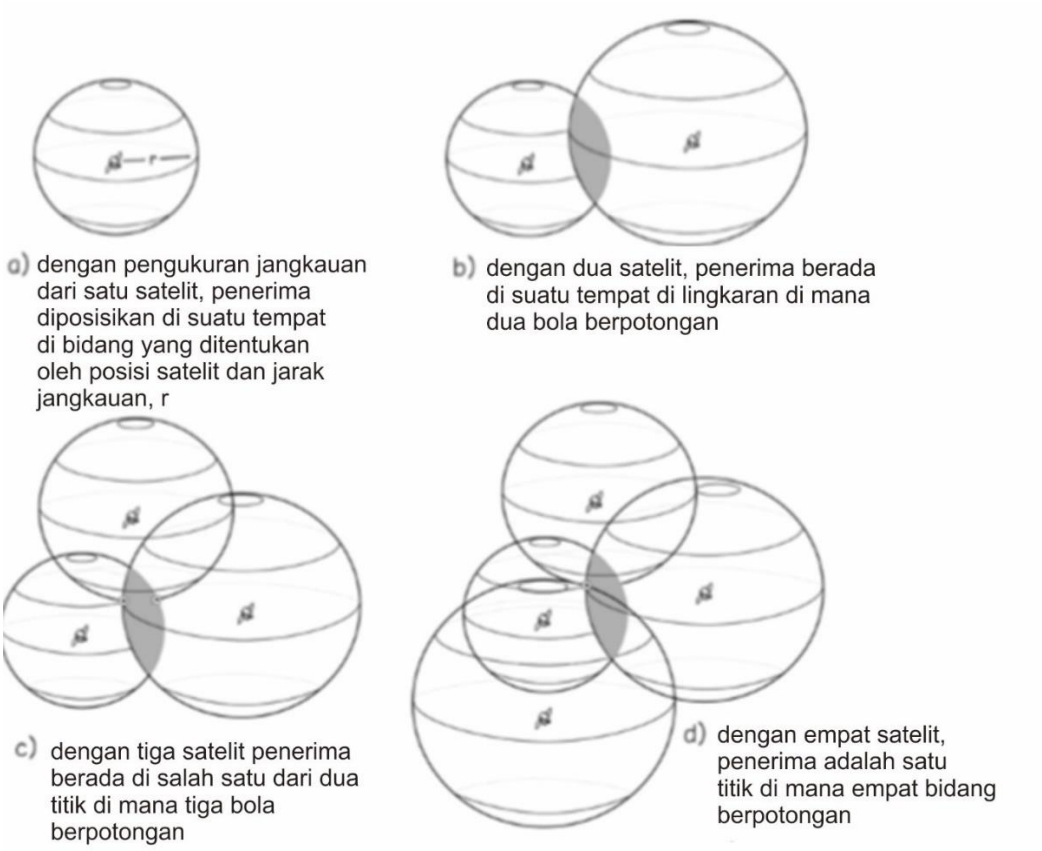
GNSS fase pembawa juga didasarkan pada serangkaian pengukuran rentang. Berbeda dengan sinyal berkode, fase sinyal satelit diukur. Setiap gelombang individu yang ditransmisikan pada frekuensi tertentu adalah identik, dan pada titik waktu tertentu ada sejumlah gelombang bilangan bulat yang tidak diketahui ditambah gelombang parsial yang sesuai dengan jarak antara satelit dan penerima. Pengamatan sinyal pembawa pada interval yang diperpanjang memungkinkan penghitungan jumlah panjang gelombang selama interval pengukuran, dan kemudian penghitungan rentang satelit yang sangat presisi.



Gambar 5.6a : Sinyal siaran, frekuensi, dan layanan pemosisian GNSS yang ada dan yang diusulkan. Sinyal diberi jarak untuk menghindari interferensi, atau dikodekan di tempat yang tumpang tindih. Frekuensi tidak diberi spasi untuk skala (milik ESA).



Gambar 5.6b : Sinyal satelit C/A yang didekodekan menyediakan pengukuran jangkauan.



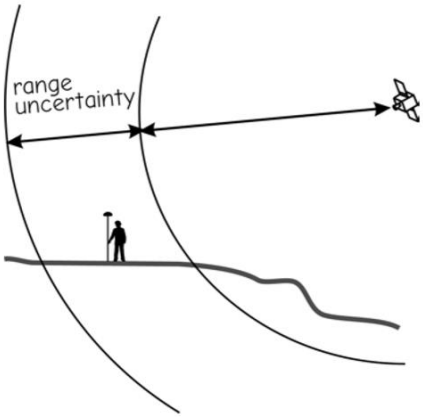
Gambar 5.7 : Rentang pengukuran dari beberapa satelit GNSS. Pengukuran rentang digabungkan untuk mempersempit posisi penerima GNSS. Rentang pengukuran dari lebih dari empat satelit dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi posisi yang diukur. (diadaptasi dari Hurn, 1989).

Pengukuran rentang simultan dari beberapa satelit digunakan untuk memperkirakan lokasi penerima. Pengukuran jangkauan digabungkan dengan informasi tentang lokasi satelit untuk menentukan suatu bola. Pengukuran jarak dari satu satelit membatasi penerima ke lokasi di suatu tempat di permukaan bola yang berpusat pada satelit (Gambar a). Rentang pengukuran dari dua satelit mengidentifikasi dua bidang, dan penerima terletak pada lingkaran yang

ditentukan oleh perpotongan dua bidang (Gambar b). Pengukuran jarak dari tiga satelit menentukan tiga bidang, dan ketiga bidang ini akan berpotongan pada dua titik (Gambar c). Urutan pengukuran rentang waktu dari tiga satelit akan mengungkapkan bahwa salah satu titik tetap hampir tidak bergerak, sementara titik lainnya bergerak cepat melalui ruang angkasa. Titik tersebut bergerak melalui ruang karena ukuran dan geometri relatif bola berubah seiring waktu seiring dengan perubahan posisi satelit. Jika jam sistem dan penerima benar-benar akurat, akan memungkinkan untuk menentukan posisi penerima stasioner dengan melakukan pengukuran dari tiga satelit dalam interval waktu yang singkat. Namun, pengukuran simultan dari empat satelit (Gambar d) biasanya diperlukan untuk mengurangi kesalahan jam penerima dan untuk memungkinkan pengukuran posisi seketika dengan penerima yang bergerak, misalnya, di pesawat, di dalam mobil, atau saat berjalan. Data dapat dikumpulkan dari lebih dari empat satelit sekaligus, dan ini biasanya meningkatkan akurasi pengukuran posisi

5.1.10 Posisi Tidak Pasti

Kesalahan dalam pengukuran jangkauan dan ketidakpastian di lokasi satelit memperkenalkan kesalahan ke dalam posisi yang ditentukan GNSS. Kesalahan rentang bervariasi secara substansial meskipun pengukuran rentang dilakukan hanya dengan selang beberapa detik. Kesalahan dalam data ephemeris menyebabkan perkiraan posisi satelit yang salah, menyebabkan kesalahan lokasi. Perpotongan bidang jangkauan berubah seiring waktu, bahkan saat penerima GNSS berada di lokasi tetap. Hal ini menghasilkan pita ketidakpastian jangkauan yang mencakup posisi penerima GNSS.



Gambar 5.8 : Ketidakpastian dalam pengukuran rentang menyebabkan kesalahan posisi dalam pengukuran GNSS.

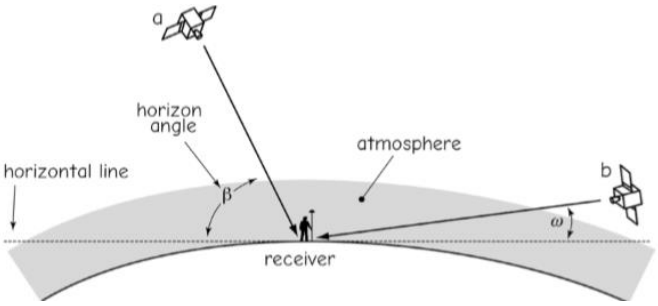
Beberapa metode digunakan untuk meningkatkan perkiraan kami tentang posisi penerima. Salah satu metode umum melibatkan pengumpulan beberapa perkiraan lokasi penerima stasioner. Kebanyakan penerima dapat memperkirakan posisi baru, atau memperbaiki, setiap detik. Penerima mengumpulkan dan rata-rata beberapa perbaikan posisi, menghasilkan perkiraan posisi rata-rata. Beberapa perbaikan memungkinkan penerima untuk memperkirakan variabilitas di lokasi posisi, misalnya, deviasi standar, akurasi yang diprediksi, atau beberapa gambaran manfaat lainnya. Sementara deviasi standar tidak memberikan informasi tentang kesalahan absolut, itu memungkinkan beberapa perkiraan presisi dari perbaikan posisi GNSS rata-rata. Besarnya dan sifat-sifat variasi ini mungkin berguna dalam mengevaluasi

pengukuran GNSS dan sumber kesalahan. Namun, perbaikan beberapa posisi tidak dimungkinkan saat pengumpulan data dilakukan saat bergerak, misalnya, saat menentukan lokasi pesawat udara. Juga, rata-rata tidak menghilangkan bias dalam posisi yang dihitung. Metode alternatif untuk mengurangi kesalahan posisi bergantung pada pengurangan beberapa sumber kesalahan rentang.

5.1.11 Sumber Jarak Error

Penundaan ionosfer dan atmosfer adalah sumber utama kesalahan posisi GNSS. Perhitungan jangkauan menggabungkan kecepatan cahaya. Meskipun kita biasanya menganggap kecepatan cahaya adalah konstan, ini tidak benar. Kecepatan cahaya konstan hanya ketika melewati medan elektromagnetik seragam dan dalam ruang hampa. Bumi dikelilingi oleh selimut partikel bermuatan yang disebut ionosfer. Partikel bermuatan ini dibentuk oleh radiasi matahari yang masuk, yang melepaskan elektron dari unsur-unsur di atmosfer atas. Perubahan kepadatan partikel bermuatan melalui ruang dan waktu mengakibatkan perubahan medan elektromagnetik di sekitar Bumi.

Atmosfer berada di bawah ionosfer, dan kerapatan atmosfer secara signifikan berbeda dari ruang hampa. Variasi kepadatan atmosfer sebagian besar disebabkan oleh perubahan suhu, tekanan atmosfer, dan uap air. Kesalahan jarak terjadi karena kecepatan sinyal GNSS diubah sedikit saat melewati ionosfer dan atmosfer; beberapa sistem memungkinkan penyaringan satelit berdasarkan sudut horizon, untuk meningkatkan akurasi.



Gambar 5.9: Penerima GNSS sering membuang sinyal dari satelit di dekat cakrawala. Seperti yang ditunjukkan gambar ini, sinyal dari satelit yang berada jauh di atas cakrawala (a) dengan sudut cakrawala tinggi (β) memiliki panjang lintasan yang lebih pendek di atmosfer daripada satelit sudut rendah (b, dengan sudut ω). Penundaan atmosfer dan karenanya kesalahan jangkauan lebih besar untuk satelit dengan sudut cakrawala rendah. Biasanya "topeng" dipasang pada sekitar 15 derajat di atas cakrawala, dan satelit diabaikan jika berada di bawah batas ini.

Kita dapat mengurangi kesalahan ionosfer dengan menyesuaikan nilai yang digunakan untuk kecepatan cahaya saat menghitung jarak jangkauan. Model fisik dapat dikembangkan yang menggabungkan pengukuran kepadatan muatan ionosfer. Karena kerapatan muatan bervariasi baik di seluruh dunia maupun di sepanjang waktu, dan karena tidak ada cara praktis untuk mengukur dan menyebarkan variasi kerapatan muatan secara tepat waktu, model fisik didasarkan pada muatan rata-rata.

Model fisik ini agak mengurangi kesalahan jangkauan. Sebagai alternatif, koreksi dapat didasarkan pada pengamatan bahwa perubahan kecepatan cahaya bergantung pada frekuensi cahaya. Penerima frekuensi ganda khusus mengumpulkan informasi tentang beberapa sinyal

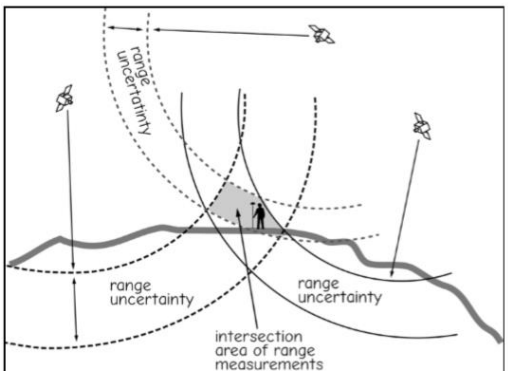
GNSS secara bersamaan, dan menggunakan model fisik yang canggih untuk menghilangkan sebagian besar kesalahan ionosfer. Receiver frekuensi ganda menemukan penggunaan yang lebih terbatas, sebagian karena harganya lebih mahal daripada receiver berbasis kode, dan karena mereka harus mempertahankan perbaikan terus menerus untuk jangka waktu yang lebih lama. Akhirnya, tidak ada model yang baik untuk efek atmosfer, sehingga tidak ada metode analitis untuk menghilangkan kesalahan rentang karena penundaan atmosfer.

Operasi sistem dan penundaan adalah sumber ketidakpastian jangkauan lainnya. Kesalahan kecil dalam pelacakan satelit menyebabkan kesalahan dalam pengukuran posisi satelit. Waktu dan sinyal lainnya diteruskan dari stasiun pemantauan yang didistribusikan secara global ke Pusat Kontrol Utama dan hingga ke satelit, tetapi ada ketidakpastian dan penundaan dalam transmisi sinyal, sehingga sinyal pengaturan waktu mungkin sedikit diimbangi. Jam atom pada satelit mungkin tidak sinkron atau salah, meskipun ini biasanya merupakan salah satu kontribusi yang lebih kecil untuk kesalahan posisi.

Penerima juga memasukkan kesalahan ke dalam posisi GNSS. Jam penerima mungkin berisi bias atau mungkin menggunakan algoritme yang tidak menghitung posisi dengan tepat. Sinyal mungkin terpantul dari objek sebelum mencapai antena. Sinyal multipath yang dipantulkan ini menempuh jarak yang lebih jauh daripada sinyal GNSS langsung dan dengan demikian memperkenalkan offset ke posisi GNSS. Sinyal multipath sering kali memiliki daya yang lebih rendah daripada sinyal langsung, sehingga beberapa sinyal multipath dapat disaring dengan menyetel rasio sinyal-ke-noise ambang batas. Sinyal dengan noise tinggi relatif terhadap kekuatan sinyal rata-rata diabaikan. Sinyal multipath juga dapat disaring oleh antena yang dirancang dengan benar. Sinyal multipath paling sering menjadi masalah di lingkungan perkotaan yang memiliki banyak reflektor sudut, seperti sisi bangunan dan jalan.

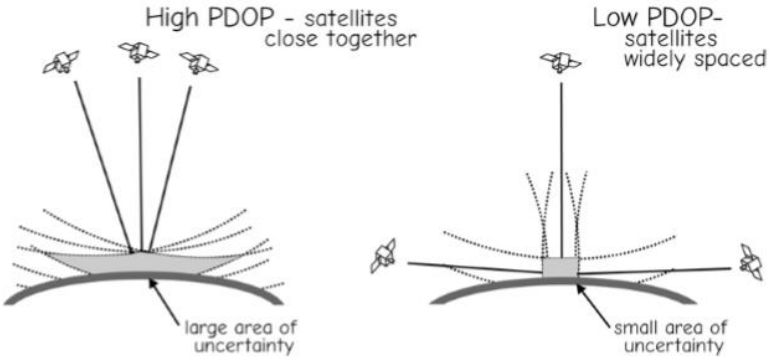
5.1.12 Geometri Satelit dan Delusi pada Presisi

Geometri konstelasi satelit GNSS adalah faktor lain yang mempengaruhi kesalahan posisi. Rentang kesalahan membuat area ketidakpastian tegak lurus terhadap arah transmisi sinyal GNSS. Area ketidakpastian ini dapat divisualisasikan sebagai satu set bidang Nested, dengan posisi sebenarnya di suatu tempat dalam volume yang ditentukan oleh perpotongan dari bidang Nested ini. Area ketidakpastian dari satelit yang berbeda ini berpotongan, dan semakin kecil area perpotongannya, semakin akurat penentuan posisinya. Sinyal dari satelit dengan jarak yang luas saling melengkapi karena menghasilkan area ketidakpastian yang lebih kecil. Sinyal dari satelit yang berdekatan tumpang tindih di wilayah yang luas, mengakibatkan ketidakpastian posisi di wilayah yang luas. Konstelasi satelit yang tersebar luas memberikan pengukuran posisi GNSS yang lebih akurat.



Gambar 5.10: Posisi satelit GPS relatif memengaruhi keakuratan posisi. Ketidakpastian rentang dikaitkan dengan setiap pengukuran rentang. Ini bergabung untuk membentuk area ketidakpastian di persimpangan rentang pengukuran.

Geometri satelit diringkas dalam angka yang disebut Dilution of Precision, atau DOP. Ada berbagai jenis DOP, termasuk Pengenceran Ketepatan Horizontal (HDOP), Vertikal (VDOP), dan Posisi (PDOP). PDOP paling banyak digunakan dan merupakan rasio volume tetrahedron yang dibuat oleh empat satelit teramati yang paling luas dengan volume yang ditentukan oleh tetrehedron ideal. Tetrahedron ideal ini dibentuk oleh satu overhead satelit dan tiga satelit yang ditempatkan pada interval 120 derajat di sekitar cakrawala. Konstelasi ini diberi PDOP satu, dan pengelompokan satelit yang lebih dekat memiliki PDOP yang lebih tinggi. PDOP yang lebih rendah lebih baik. Sebagian besar penerima GNSS meninjau almanak yang ditransmisikan oleh satelit GNSS dan mencoba memilih konstelasi dengan PDOP terendah. Jika konstelasi terbaik ini tidak tersedia, misalnya, beberapa satelit tidak terlihat, konstelasi yang lebih buruk secara berturut-turut diuji sampai konstelasi terbaik yang tersedia ditemukan. Penerima biasanya memberikan pengukuran PDOP saat data dikumpulkan, dan ambang batas PDOP maksimum dapat ditentukan. Data tidak dikumpulkan ketika PDOP berada di atas nilai ambang batas.

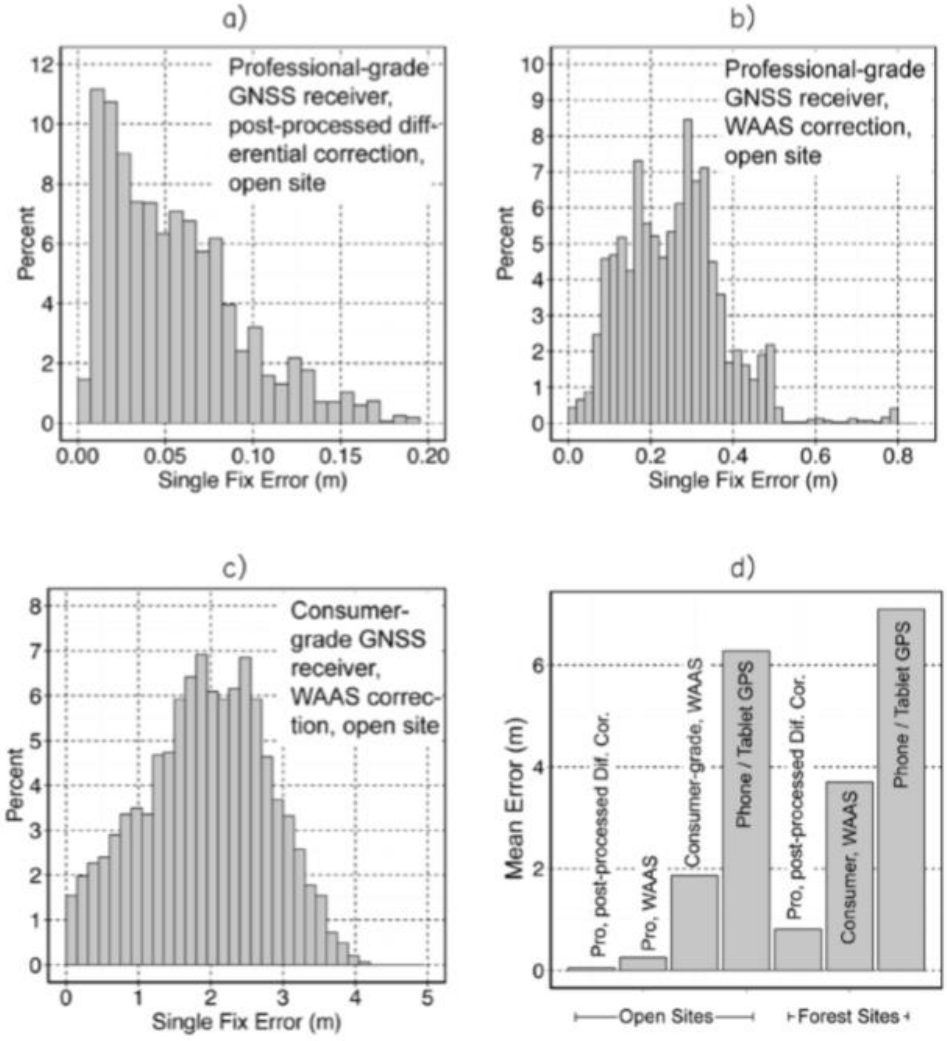


Gambar 5.11: Distribusi satelit GPS mempengaruhi akurasi posisi. Satelit dengan jarak yang dekat menghasilkan kesalahan posisi yang lebih besar daripada satelit dengan jarak yang jauh. Geometri satelit diringkas oleh PDOP dengan PDOP yang lebih rendah menunjukkan geometri satelit yang lebih baik.

Kesalahan rentang dan DOP digabungkan untuk memengaruhi akurasi posisi GNSS. Ada banyak sumber kesalahan jangkauan, dan ini digabungkan untuk membentuk ketidakpastian jangkauan keseluruhan untuk pengukuran dari setiap satelit GNSS yang terlihat. Jika lokasi koordinat yang lebih tepat diperlukan, maka pilihannya adalah menggunakan peralatan yang membuat pengukuran jangkauan yang lebih tepat, dan / atau mengumpulkan data saat DOP rendah.

Akurasi GNSS bergantung pada jenis penerima, kondisi atmosfer dan ionosfer, jumlah pengukuran jangkauan, konstelasi satelit, dan algoritma yang digunakan untuk penentuan posisi. Penerima kode C/A saat ini biasanya memberikan akurasi antara 3 dan 30 m untuk satu perbaikan. Kesalahan lebih besar dari 100 m untuk satu perbaikan kadang-kadang terjadi. Akurasi dapat ditingkatkan secara substansial, antara 2 dan 15 m, ketika beberapa perbaikan dirata-ratakan. Semakin lama waktu pengumpulan data, semakin tinggi keakuratannya.

Perbaikan sebagian besar berasal dari pengurangan dampak kesalahan besar yang lebih jarang, tetapi akurasi rata-rata jarang di bawah satu m saat menggunakan penerima kode C/A tunggal.

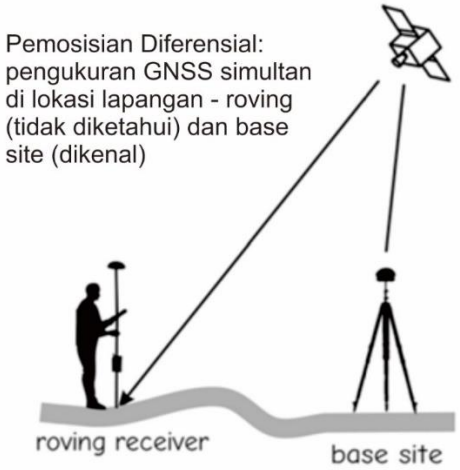


Gambar 5.12: Distribusi kesalahan GPS yang diamati untuk berbagai penerima di bawah kondisi langit terbuka (a sampai c) dan kesalahan rata-rata di bawah langit terbuka dan kanopi hutan gugur yang lebat (d). Hasil menunjukkan akurasi tertinggi untuk penerima GNSS kelas profesional (panel a, TRIMBLE 6H, koreksi diferensial fase pembawa pascaproses, <20 km ke stasiun pangkalan) penerima GNSS kelas profesional dengan koreksi waktu nyata WAAS (b), dan GNSS tingkat konsumen yang murah (c, Garmin etrex). Kesalahan rata-rata untuk langit terbuka dan di bawah kanopi hutan ditunjukkan pada panel d untuk ketiga penerima/konfigurasi ini, dan untuk iPhone 5 dan tablet GPS serupa. Akurasi tingkat sentimeter tersedia dengan peralatan terbaik dalam kondisi optimal, tetapi receiver yang lebih murah dan langit yang terhalang mengurangi akurasi. Dalam beberapa kasus, kesalahan perbaikan individu itu penting, misalnya, saat mendigitalkan garis atau batas poligon, sementara kesalahan rata-rata mungkin lebih penting saat mengumpulkan fitur titik, memungkinkan beberapa perbaikan. Perhatikan bahwa kesalahan berkurang seiring dengan peningkatan teknologi, tetapi receiver dengan harga lebih tinggi mungkin tidak lebih mahal selama umur proyek jika akurasi yang lebih rendah memerlukan pengeditan manual yang signifikan untuk data yang dikumpulkan GNSS.

Akurasi saat menggunakan fase pembawa atau penerima serupa jauh lebih tinggi, di urutan beberapa sentimeter. Akurasi ini datang dengan mengorbankan waktu pengumpulan data yang lebih lama, dan paling sering diperoleh saat menggunakan koreksi diferensial, proses yang dijelaskan di bagian berikut

5.2 Koreksi Diferensial

Bagian sebelumnya berfokus pada pengukuran posisi GNSS yang dikumpulkan dengan satu penerima. Mode operasi ini dikenal sebagai pemosisian GNSS otonom. Metode alternatif, yang dikenal sebagai pemosisian diferensial, menggunakan dua atau lebih penerima. Pengukuran posisi diferensial digunakan terutama untuk menghilangkan sebagian besar kesalahan rentang dan dengan demikian sangat meningkatkan akurasi pengukuran posisi GNSS. Namun, pemosisian diferensial tidak selalu digunakan, karena pemosisian penerima tunggal cukup akurat untuk beberapa aplikasi, dan pemosisian diferensial memerlukan lebih banyak waktu dan/atau biaya yang lebih besar.



Gambar 5.13 : Diferensiasi pemposisian GNSS

Pemosisian GNSS diferensial memerlukan penetapan penerima stasiun pangkalan pada titik koordinat yang diketahui. Lokasi koordinat sebenarnya dari stasiun pangkalan biasanya ditentukan menggunakan metode survei akurasi tinggi, misalnya, pengamatan astronomi berulang, GNSS akurasi tertinggi, atau survei tanah yang tepat.

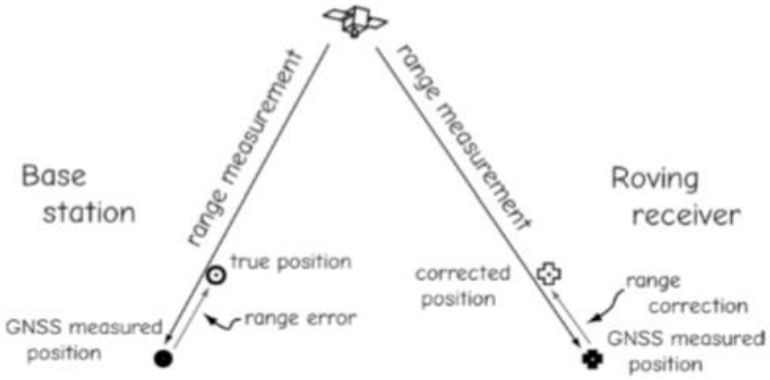
Kami menggunakan stasiun pangkalan untuk memperkirakan sebagian dari kesalahan pengukuran rentang untuk setiap perbaikan posisi. Ingat bahwa GNSS didasarkan pada serangkaian pengukuran rentang, dan pengukuran rentang ini mengandung kesalahan. Beberapa kesalahan ini disebabkan oleh ketidakpastian waktu tempuh yang diukur dari satelit ke penerima. Kesalahan waktu tempuh ini, juga dikenal sebagai kesalahan waktu, seringkali merupakan salah satu sumber terbesar dari ketidakpastian posisi.

Dalam koreksi diferensial kami menggunakan posisi stasiun pangkalan yang diketahui untuk memperkirakan kesalahan waktu dan karenanya kesalahan jangkauan. Setiap satelit GNSS menyiarkan posisinya bersama dengan sinyal jelajah. Jarak "sebenarnya" dari satelit tertentu ke stasiun pangkalan dapat dihitung karena lokasi stasiun pangkalan dan satelit diketahui. Namun, perhatikan tanda kutip yang memenuhi syarat di sekitar "benar." Kami tidak dapat

secara tepat menentukan di mana satelit itu berada, dan koordinat stasiun pangkalan memiliki beberapa tingkat ketidakpastian (biasanya kecil) yang terkait dengannya. Namun, jika kami sangat berhati-hati dalam mensurvei lokasi stasiun pangkalan kami, maka kesalahan dalam pengukuran basis-ke-satelit hampir selalu lebih kecil daripada kesalahan jangkauan yang terdapat dalam pengukuran waktu kami yang tidak dikoreksi.

Perbedaan antara jarak sebenarnya dan jarak yang diukur GNSS digunakan untuk memperkirakan kesalahan waktu untuk satelit tertentu pada detik tertentu. Kesalahan waktu berubah setiap detik, sehingga harus sering diukur.

Koreksi waktu dapat diterapkan pada pengukuran jarak yang dikumpulkan oleh penerima keliling. Penerima keliling ini digunakan untuk mengukur posisi GNSS di lokasi lapangan dengan koordinat yang tidak diketahui. Kesalahan waktu, dan karenanya kesalahan jangkauan, untuk setiap satelit yang diamati di lokasi lapangan diasumsikan sama dengan kesalahan jangkauan yang diamati secara bersamaan di stasiun pangkalan. Kami menyesuaikan waktu setiap pengukuran satelit yang dilakukan oleh rover, kemudian menghitung posisi rover di lapangan. Penyesuaian ini biasanya mengurangi setiap kesalahan rentang dan secara substansial meningkatkan setiap perbaikan posisi yang diambil dengan penerima medan keliling.



Gambar 5.14: Koreksi diferensial didasarkan pada pengukuran kesalahan waktu dan jangkauan GNSS di stasiun pangkalan, dan menerapkan kesalahan ini sebagai koreksi untuk posisi penjelajah yang diukur secara bersamaan.

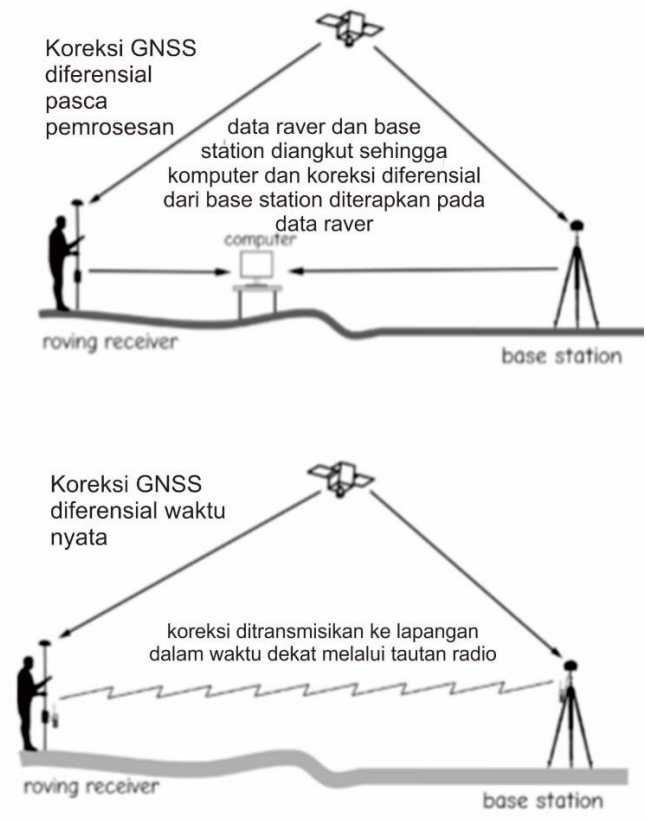
Kesalahan waktu berubah di seluruh permukaan bumi, dan ini membatasi penggunaan koreksi GNSS diferensial. Penerima keliling kami harus "dekat" stasiun pangkalan kami agar koreksi diferensial berfungsi. Sebagian besar kesalahan jangkauan disebabkan oleh gangguan atmosfer dan ionosfer dengan sinyal GNSS. Untungnya, kondisi ini sering kali berubah secara perlahan dengan jarak melalui atmosfer, sehingga interaksi di satu lokasi cenderung mirip dengan interaksi, dan dengan demikian kesalahan, di lokasi terdekat. Oleh karena itu, selama penjelajah dekat dengan stasiun pangkalan, kami mungkin mengharapkan koreksi diferensial untuk meningkatkan pengukuran posisi kami.

Koreksi diferensial memerlukan stasiun pangkalan dan penerima keliling untuk mengumpulkan data dari seperangkat satelit yang serupa. Kami tidak dapat memperbaiki kesalahan waktu yang tidak kami ukur. Empat satelit yang menyediakan PDOP yang dapat diterima sudah cukup.

Persyaratan tampilan simultan membatasi jarak antara basis dan penerima keliling. Semakin jauh jarak penerima, semakin besar kemungkinan mereka tidak akan melihat set satelit yang sama. Sementara pemosisian diferensial telah berhasil pada jarak lebih dari 1500 km (1000 m), kinerja terbaik dicapai bila penerima keliling berada di dalam 300 km (180 mil) dari stasiun pangkalan, dan lebih dekat biasanya lebih baik.

Koreksi diferensial yang berhasil juga membutuhkan keserempakan yang dekat dalam pengukuran dasar dan penjelajah. Kesalahan berubah dengan cepat seiring waktu. Jika pengukuran dasar dan penjelajah dikumpulkan lebih dari beberapa puluh detik, keduanya tidak sesuai dengan kumpulan kesalahan yang sama, dan dengan demikian perbedaan pada stasiun pangkalan tidak dapat digunakan untuk mengoreksi data penjelajah. Banyak sistem memungkinkan pengumpulan data disinkronkan ke sinyal waktu standar, sehingga memastikan kecocokan yang baik ketika vektor kesalahan diterapkan untuk memperbaiki data GNSS penerima keliling.

Data stasiun pangkalan dan data penerima keliling harus digabungkan untuk koreksi diferensial. Koreksi stasiun pangkalan dapat dihitung untuk setiap perbaikan, tetapi koreksi ini harus digabungkan dengan data penerima keliling untuk menerapkan koreksi. Banyak penerima memungkinkan sejumlah besar data disimpan, baik internal ke penerima, atau di komputer yang terpasang. File dapat diunduh dari stasiun pangkalan dan unit penjelajah ke komputer umum. Perangkat lunak yang disediakan oleh sebagian besar vendor sistem GNSS kemudian digunakan untuk menggabungkan data dasar dan bajak serta menghitung dan menerapkan koreksi diferensial pada perbaikan posisi. Ini dikenal sebagai koreksi diferensial setelah diproses, karena koreksi diterapkan setelah, atau setelah, pengumpulan data.



Gambar 5.15 : Koreksi GNSS diferensial pasca-proses dan waktu nyata.

Pemosisian diferensial pascaproses cocok untuk banyak kegiatan digitalisasi lapangan. Lokasi jalan dapat didigitalkan dengan penerima GNSS yang dipasang di bagian atas kendaraan. Kendaraan dikemudikan di atas jalan untuk didigitalkan, dan data rover direkam secara bersamaan dengan stasiun pangkalan. Data dasar dan penjelajah diunduh ke komputer proses dan koreksi diferensial dihitung dan diterapkan. Data jalan ini kemudian dapat diproses lebih lanjut untuk membuat layer data di GIS.

Pemosisian diferensial pasca pemrosesan memiliki satu batasan serius. Karena posisi yang tepat tidak diketahui saat rover berada di lapangan, teknologi pasca-pemrosesan tidak berguna saat navigasi yang tepat diperlukan. Surveyor yang memulihkan sudut properti yang terkubur atau tersembunyi sering kali perlu menavigasi ke dalam jarak satu meter dari posisi saat berada di lapangan, sehingga monumen, patok, atau

penanda dapat dipulihkan. Saat menggunakan GNSS diferensial yang telah diproses, penerima lapangan beroperasi sebagai perangkat pemosisian otonom, dan diharapkan akurasi beberapa meter hingga puluhan meter. Ini tidak dapat diterima untuk banyak tujuan navigasi karena terlalu banyak waktu yang akan dihabiskan untuk mencari lokasi akhir ketika seseorang sudah dekat dengan tujuan. Metode alternatif, yang dijelaskan di bagian selanjutnya, memberikan penentuan posisi di lapangan yang lebih tepat.

5.2.1 Pemosisian Diferensial secara Real-Time

Metode koreksi GNSS alternatif, yang dikenal sebagai koreksi diferensial waktu nyata, mungkin sesuai bila navigasi yang tepat diperlukan. Koreksi diferensial waktu nyata memerlukan beberapa peralatan tambahan dan ada beberapa biaya dalam akurasi yang sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan GNSS diferensial pasca-pemrosesan. Namun, akurasi koreksi diferensial waktu nyata jauh lebih baik daripada GNSS otonom, dan lokasi akurat ditentukan saat masih di lapangan.

Pemosisian GNSS diferensial waktu nyata memerlukan hubungan komunikasi antara stasiun pangkalan dan penerima keliling. Biasanya stasiun pangkalan terhubung ke pemancar radio dan antena. Hubungan radio FM sering digunakan karena jangkauannya yang lebih jauh dan transmisi yang baik melalui vegetasi, ke ngarai atau lembah yang dalam, atau ke medan terbatas lainnya. Stasiun pangkalan mengumpulkan sinyal GNSS dan menghitung jarak jangkauan. Kesalahan dihitung untuk setiap jarak jangkauan. Besaran dan arah setiap kesalahan diteruskan ke pemancar radio, bersama dengan informasi tentang waktu dan konstelasi satelit yang digunakan. Aliran koreksi terus-menerus ini disiarkan melalui radio dan antena stasiun pangkalan.

Penerima GNSS keliling dilengkapi dengan radio penerima, dan setiap penerima dalam jangkauan siaran stasiun pangkalan dapat menerima sinyal koreksi. Penerima keliling juga merekam data GNSS dan menghitung perbaikan posisi. Setiap penentuan posisi oleh penerima keliling dicocokkan dengan koreksi yang sesuai dari siaran radio stasiun pangkalan. Koreksi yang sesuai kemudian diterapkan ke setiap perbaikan dan lokasi lapangan yang akurat dihitung secara waktu nyata.

Koreksi diferensial waktu nyata membutuhkan stasiun pangkalan penyiaran; Namun, setiap pengguna tidak diharuskan untuk membuat stasiun pangkalan dan radio atau sistem komunikasi lainnya. Penjaga Pantai telah menetapkan satu set suar radio GPS di Indonesia

yang menyiarkan sinyal koreksi standar. Penerima GPS yang kompatibel di dekat suar ini dapat menggunakan sinyal untuk koreksi diferensial. Penerima suar GPS ini biasanya memiliki antena tambahan dan elektronik untuk memproses sinyal suar. Beacon awalnya untuk membantu navigasi kapal di pesisir dan perairan pedalaman utama, sehingga beacon terkonsentrasi di dekat pesisir dan perairan pedalaman utama. Sistem ini telah menjadi sistem GPS Diferensial Maritim dan merupakan bagian dari sistem GPS Diferensial Nasional (NDGPS) yang sedang dikembangkan dengan kolaborasi Federal

Gambar 5.16 : Lokasi stasiun RTK yang tersedia (titik) pada bulan April 2015. Lokasi stasiun dan jarak dari suar terdekat ditampilkan.

Departemen Perhubungan, Keamanan Dalam Negeri, dan lain-lain. Ini akan mendukung navigasi dan penentuan posisi di area yang jauh dari jaringan Penjaga Pantai. Banyak produsen GPS menjual paket penerima suar yang mendukung koreksi waktu nyata menggunakan sinyal suar.

5.2.2 WAAS dan Koreksi Berbasis Satelit

Koreksi diferensial akurasi tertinggi disediakan dengan frekuensi ganda, pemosisian fase pembawa, yang sering disebut GNSS kinematik waktu nyata (RTK). Jumlah penundaan ionosfer berbeda untuk frekuensi yang berbeda, jadi dengan membandingkan sinyal, seperti pembawa GPS L1 dan L2, penundaan ionosfer dapat diperkirakan dan dihilangkan. Sistem pemosisian diferensial CORS dan WAAS yang dijelaskan sejauh ini pada dasarnya adalah frekuensi tunggal, sehingga kurang akurat dibandingkan sistem frekuensi ganda yang ketat. Sementara posisi frekuensi tunggal yang dikumpulkan untuk periode kurang dari satu jam biasanya memiliki kesalahan puluhan sentimeter (setengah kaki) atau lebih, GNSS frekuensi ganda seringkali akurat hingga beberapa sentimeter (satu inci) atau lebih baik.

RTK adalah teknologi yang sangat kuat sehingga banyak pemerintah negara bagian membuat konstelasi penerima frekuensi ganda yang padat dalam jaringan Stasiun Referensi Virtual (VRS). Stasiun ditempatkan dalam jaringan di beberapa wilayah sedemikian rupa sehingga penerima keliling tidak pernah lebih dari jarak yang dapat diterima dari basis (Gambar 5-18). Sistem menyediakan siaran data stasiun pangkalan frekuensi ganda dengan cara standar melalui frekuensi radio tertentu, bersama dengan informasi stasiun pangkalan. Penerima

frekuensi ganda keliling dapat mengidentifikasi penerima lokal terdekat atau terbaik, dan membandingkan sinyal dasar dengan sinyal keliling untuk mendapatkan posisi dalam beberapa sentimeter saat berada di lapangan.

Ada kelemahan RTK GNSS. Penerima lebih mahal, meskipun harganya turun. Penerima RTK keliling harus lebih dekat ke stasiun pangkalan untuk akurasi tertinggi, biasanya dalam jarak 10 detik, dan biasanya kurang dari 100 kilometer, dibandingkan dengan beberapa ratus kilometer untuk koreksi diferensial frekuensi tunggal. Hal ini memerlukan jaringan pemancar yang lebih padat, atau pengguna RTK menyiapkan dan memelihara pemancar mereka sendiri untuk setiap proyek. Akhirnya, seperti semua pemosisian fase pembawa, sinyal satelit harus terus dilacak untuk periode yang lebih lama, meskipun receiver modern telah mengurangi waktu ini menjadi beberapa hingga puluhan menit, berlawanan dengan jam yang diperlukan saat teknologi pertama kali dikembangkan.

5.2.3 Pemosisian Titik yang Tepat

Precise Point Positioning (PPP) adalah alternatif koreksi diferensial. Teknik ini menggunakan pengukuran satelit, jam, dan orbit yang tepat untuk memecahkan lokasi titik tanpa mengacu pada satu set stasiun pangkalan. Ini memiliki keuntungan dari aplikasi di seluruh dunia tanpa memerlukan stasiun pangkalan, dan akurasi setinggi 10 cm dicapai pada inkarnasi awal metode ini. Sayangnya, PPP membutuhkan kalkulasi yang rumit pada pengamatan yang panjang dan tidak terputus pada set satelit untuk akurasi tertinggi. Ini seringkali sulit untuk dicapai, terutama di lingkungan yang terhalang, dan dapat memakan waktu puluhan menit, dan dalam kasus yang ekstrim hingga berjam-jam, agar solusi dapat menyatu ke nilai yang stabil, seringkali membuat aplikasi awal menjadi tidak praktis. Namun, banyak pekerjaan telah diarahkan pada sistem observasi dan komunikasi satelit yang terintegrasi, sehingga posisi satelit yang mendekati waktu nyata dihitung dan digunakan untuk membantu akurasi serupa PPP dengan waktu observasi yang lebih singkat. Contohnya termasuk Trimble Centerpoint-RTX, NavCom Starfire, dan Veripos TERRASTAR. Biasanya sistem ini dijual sebagai layanan berlangganan, di mana biaya bulanan atau tahunan dibayarkan untuk mengakses posisi satelit waktu nyata dan data lainnya. Data ini dapat disiarkan melalui modem seluler, tautan internet, atau radio satelit.

5.2.4 Perhatian pada Datum

Kesalahan dapat dengan mudah disuntikkan ke data GNSS karena transformasi datum yang tidak tepat. Seseorang harus berhati-hati dalam menggunakan data GNSS, baik secara langsung, atau setelah menerapkan koreksi diferensial karena transformasi datum yang digunakan seringkali tidak transparan, atau didokumentasikan dengan buruk.

Lokasi satelit GPS dilaporkan dalam datum WGS84 terbaru. Datum ini tidak sering digunakan sebagai dasar untuk data GIS. karena sebagian besar data yang lebih tua berada dalam datum nasional atau lokal, misalnya, NAD83 (2011), dan karena tidak ada jaringan titik yang padat dengan koordinat WGS84 yang akurat yang mudah ditemukan di lapangan. Mengabaikan atau memilih transformasi datum yang salah akan menyebabkan kesalahan ke dalam proses ini. Vendor GPS biasanya memberikan opsi untuk melaporkan data di salah satu sistem koordinat yang umum digunakan ini; misalnya, pengguna dapat mengatur penerima GPS untuk menampilkan koordinat UTM atau State Plane, dan menyimpannya ke fitur yang dikumpulkan dalam file. Namun, vendor GPS seringkali tidak secara jelas mengidentifikasi transformasi

datum yang digunakan. Versi awal datum NAD83 yang mendasari sistem UTM adalah dan tetap berbeda hingga dua m dari datum WGS84, jadi Anda tidak dapat menganggap mereka sama, seperti praktik umum, dan harus hati-hati memilih yang benar. datum atau Anda akan menurunkan data Anda.

Kebingungan dapat terjadi selama koreksi diferensial. Di sini, koordinat stasiun pangkalan menentukan koreksi relatif terhadap suatu titik dalam sistem koordinat yang ditentukan. Koordinat ini mungkin didasarkan pada datum yang berbeda dari datum WGS yang digunakan untuk pengumpulan data GPS. Transformasi yang tepat antara datum harus diterapkan untuk menjaga akurasi. Misalnya, jaringan stasiun GPS CORS adalah sumber umum data dasar untuk koreksi diferensial. Koordinat untuk stasiun pangkalan ini biasanya dilaporkan dalam realisasi CORS terbaru dari datum NAD83, atau dalam datum ITRF. Transformasi datum yang tepat harus diterapkan saat menggunakan ini sebagai dasar untuk koreksi jika akurasi tertinggi ingin dipertahankan. Seperti disebutkan sebelumnya, perbedaan antara datum NAD83(CORS) kemudian dan realisasi terbaru WGS84 biasanya kurang dari satu meter, sehingga kesalahan yang diperkenalkan mungkin relatif kecil terhadap akurasi yang diperlukan untuk analisis yang dimaksudkan. Namun, banyak proyek memerlukan akurasi submeter, dan untuk beberapa kondisi kesalahan mungkin cukup besar, hingga puluhan atau ratusan meter, tergantung pada datum dan proyeksi yang terlibat. Kesalahan ini dapat dihindari dengan sedikit biaya dengan penerapan pengetahuan yang sesuai, biasanya disediakan dalam dokumentasi vendor.

5.3 Survei Koordinat Optik dan Laser

Secara historis, survei koordinat dari instrumen optik seperti transit, teodolit, dan pengukur jarak elektronik adalah cara utama untuk mengumpulkan data geografis. Meskipun metode ini perlahan-lahan digantikan oleh penentuan posisi berbasis satelit dan laser berbasis darat, metode ini masih cukup umum, dan setiap pengguna GIS yang kompeten harus terbiasa dengan metode survei lapangan berbasis optik. Layer data spasial seringkali dihasilkan langsung dari survei lapangan, atau dari survei lapangan yang dikombinasikan dengan pengukuran pada foto udara.

Survei sangat umum dilakukan untuk data yang bernilai tinggi. Real estat di pasar kelas atas bisa bernilai ratusan hingga ribuan dolar per meter persegi, ditambah nilai perbaikannya. Tata cara zonasi sering kali menentukan jarak minimum antara perbaikan dan batas properti. Faktor-faktor ini membenarkan survei koordinat yang tepat dan mahal. Fitur lain yang biasa disurvei adalah saluran listrik, kabel serat optik, dan utilitas.

Survei bidang adalah survei horizontal berdasarkan permukaan planar (datar). Asumsi permukaan datar memberikan keuntungan komputasi yang signifikan; matematika yang digunakan untuk menghitung posisi dalam survei bidang jauh lebih rumit daripada yang diperlukan untuk survei geodetik. Permukaan datar dalam survei bidang biasanya ditentukan oleh proyeksi peta, dengan titik yang diketahui berfungsi sebagai lokasi awal survei.

Dalam survei bidang, kami biasanya menganggap garis tegak lurus terhadap permukaan di semua titik dalam survei. Sebuah plumb bob atau beban digantungkan pada seutas tali, dan diasumsikan menggantung dalam arah vertikal dan memotong permukaan bidang pada sudut 90°. Ini adalah asumsi yang valid ketika kesalahan yang melekat dengan mengabaikan kelengkungan bumi dan variasi kepadatan kecil dibandingkan dengan persyaratan akurasi survei atau kesalahan yang melekat pada pengukuran survei itu sendiri. Kesalahan jarak

karena mengasumsikan permukaan datar daripada permukaan melengkung lebih dari 10 km (6 mi) adalah 0,72 cm (0,28 in). Oleh karena itu, survei pesawat biasanya terbatas pada jarak di bawah beberapa puluh kilometer. Pembatasan ini dipenuhi dalam banyak survei, dan sebagian besar garis dan titik yang disurvei hingga saat ini telah diukur menggunakan metode survei bidang. Survei bidang cukup untuk sebagian besar subdivisi, pekerjaan umum, proyek konstruksi, dan survei properti.

Secara historis, survei bidang telah dilakukan dengan instrumen optik yang serupa dengan yang dijelaskan untuk survei geodetik. Instrumen ini biasanya memiliki pengukur sudut di bidang horizontal dan vertikal dan penglihatan optik, biasanya dengan beberapa tingkat perbesaran teleskopik. Instrumen menggunakan sejumlah nama yang berbeda, termasuk, dalam urutan peningkatan kecanggihan dan kemampuan, level, transit, teodolit, dan stasiun total.

Pengukuran jarak dan sudut adalah kegiatan lapangan utama dalam survei bidang. Jarak diukur antara dua stasiun survei, yang merupakan titik-titik yang ditempati di lapangan. Arah ditentukan oleh sudut antara arah standar, biasanya utara atau selatan, dan arah garis yang disurvei antara dua stasiun. Jarak dalam beberapa satuan standar, misalnya meter standar internasional.

Ada dua cara umum untuk menentukan sudut. Yang pertama menggunakan azimuth. Sudut azimuth diukur searah jarum jam, biasanya relatif terhadap grid atau utara geografis. Azimuth bervariasi dari 0 hingga 360 derajat. Perhatikan bahwa azimuth biasanya merujuk ke utara grid, meskipun mereka juga dapat ditentukan relatif terhadap utara magnetik, jadi harus berhati-hati dalam mengklarifikasi referensi mana yang digunakan.

Gambar 5.17: Instrumen survei untuk mengumpulkan data geometri koordinat.

Gambar 5.18: Survei menetapkan koordinat untuk sebagian besar garis properti. Pengukuran lapangan jarak dan arah digunakan untuk menetapkan kumpulan simpul yang mendefinisikan garis batas properti. Ini adalah satu-satunya cara untuk mengumpulkan data ini, karena fitur tidak terlihat di sumber lain.

5.4 Aplikasi GNSS

Pelacakan, navigasi, digitalisasi lapangan, dan survei adalah aplikasi utama GNSS. Navigasi adalah menemukan jalan atau rute, dan pelacakan melibatkan pencatatan lokasi objek melalui waktu. Contoh umum adalah melacak kendaraan pengiriman hampir secara real time. Organisasi pengiriman dan distribusi besar sering kali memerlukan informasi tentang lokasi armada kendaraan. Kendaraan yang dilengkapi dengan penerima GNSS dan tautan radio dapat melapor kembali ke kantor pengiriman setiap beberapa detik. Akibatnya, petugas operator mungkin memiliki peta lokasi kendaraan secara real-time. Ikon pada peta digital digunakan untuk mewakili kendaraan, dan pandangan sekilas dapat mengungkapkan kendaraan mana yang paling dekat dengan situs pengiriman atau pengambilan, atau pengemudi mana yang sering mengunjungi toko donat.

Gambar 5.19 : Penerima GPS yang dikembangkan untuk navigasi laut (kiri) dan udara (kanan), atas izin Garmin Corp. dan Trimble Ltd.

Navigasi adalah aplikasi GNSS umum kedua. Penerima GNSS telah dikembangkan secara khusus untuk navigasi, dengan peta atau kompas digital diatur ke tampilan di layar. Peta digital dapat diunggah ke penerima GNSS ini dari database yang lebih besar, dan jalan-jalan, fitur air, topografi, atau data spasial lainnya yang ditampilkan sebagai latar belakang. Petunjuk arah ke titik yang teridentifikasi dapat ditampilkan, baik sebagai rute pada peta digital, atau sebagai serangkaian instruksi, misalnya, petunjuk arah untuk berbelok di jalan yang akan datang. Penerima GNSS dan peta digital ini adalah sistem GIS yang sangat khusus. Sistem ini berguna saat mengumpulkan atau memverifikasi data spasial, seperti untuk menavigasi ke sekitar menara komunikasi yang akan mengumpulkan serangkaian pengukuran atribut.

5.4.1 Digitalisasi Lapangan

Digitalisasi lapangan adalah aplikasi utama GNSS di GIS. Data dapat direkam langsung di lapangan untuk memperbarui lokasi titik, garis, atau area. Fitur dikunjungi atau dilintasi di lapangan, dan sejumlah perbaikan GNSS yang sesuai dikumpulkan.

Gambar 5.20: Fitur garis dapat didigitalkan melalui GPS, seperti dalam contoh sistem GIS/GPS yang dipasang di traktor. Tampilan data dan perangkat lunak digitalisasi digunakan untuk merekam koordinat yang dikumpulkan oleh penerima GPS (di atas).

Penerima GNSS telah dibawa dalam mobil, di atas kapal, sepeda, dan helm, atau dengan tangan untuk menangkap koordinat lokasi titik dan batas. Data GNSS seringkali lebih akurat daripada data yang dikumpulkan dari peta kartometrik berkualitas tinggi. Misalnya, data GPS kode C / A yang dikoreksi secara berbeda biasanya memiliki keakuratan yang lebih baik dari 5 m, dan seringkali di bawah 2 m, sedangkan keakuratan sering kali mendekati 15 hingga 20 m untuk data yang dikumpulkan melalui digitalisasi manual dari gambar berskala 1: 24.000. Koreksi diferensial yang tepat dari data GNSS fase pembawa sering kali menghasilkan akurasi tingkat sentimeter, jauh lebih baik daripada yang dapat diperoleh dari mendigitalkan semua kecuali peta atau gambar berskala terbesar.

GNSS sering digunakan untuk mendigitalkan titik kontrol baru secara langsung. Ingatlah bahwa titik kontrol digunakan untuk mengoreksi dan mengubah peta atau data gambar menjadi koordinat dunia nyata. Foto udara mungkin tersedia, dan koordinatnya mungkin tidak diketahui untuk fitur yang terlihat pada gambar udara. Titik kontrol mungkin sulit atau tidak mungkin diperoleh secara langsung dari survei atau dari informasi yang diplot pada peta yang ada, terutama jika graticule atau gridlines tidak ada. GNSS menawarkan metode langsung untuk mengukur koordinat titik kontrol potensial yang direpresentasikan pada gambar atau peta. Persimpangan jalan atau titik lain dapat diidentifikasi dan kemudian dikunjungi dengan penerima GNSS.

Titik kontrol terukur GNSS adalah dasar untuk hampir semua proyek saat ini yang melakukan koreksi analitik dari *gambar* udara. Sebagian besar data *gambar* pada awalnya tidak berada dalam sistem koordinat peta, namun *gambar* seringkali sangat berguna untuk mengembangkan atau memperbarui data spasial. Foto udara berisi informasi rinci. Namun demikian, foto udara dapat mengalami distorsi geometris. Kesalahan ini dapat dikoreksi secara analitis melalui metode yang sesuai, tetapi metode ini memerlukan beberapa titik kontrol per gambar, atau setidaknya per proyek, bila digunakan beberapa foto udara yang tumpang tindih. GNSS secara signifikan mengurangi biaya pengumpulan titik kontrol, sehingga

membuat koreksi foto tunggal atau multifoto menjadi alternatif yang layak bagi sebagian besar organisasi yang mengumpulkan data spasial.

Digitalisasi dengan GNSS sering melibatkan pengambilan data koordinat dan atribut di lapangan. Biasanya penerima GNSS diaktifkan dan mendeteksi sinyal dari satu set satelit. Sebuah file dibuka dan perbaikan posisi dicatat pada tingkat tertentu, seperti setiap dua detik. Data atribut juga dapat dimasukkan, baik saat perbaikan posisi sedang dikumpulkan, atau sebelum atau setelah pengumpulan data posisi. Dalam beberapa perangkat lunak, perbaikan posisi mungkin ditandai atau diidentifikasi. Misalnya, sudut tertentu dapat diberi tag saat mendigitalkan garis. Beberapa fitur dapat dikumpulkan dalam satu file dan identitas dipertahankan melalui atribut terlampir. Data diproses sesuai kebutuhan untuk meningkatkan akurasi, dan diubah ke format yang kompatibel dengan sistem GIS yang digunakan. Pengumpulan data GNSS dan alat reduksi data sering menyediakan kemampuan untuk mengedit, membagi, atau mengumpulkan data yang dikumpulkan, misalnya, mengubah beberapa perbaikan menjadi rata-rata titik tunggal. Fungsi ini dapat diterapkan untuk semua perbaikan posisi dalam file, atau untuk subset perbaikan posisi yang disematkan dalam file GNSS.

Gambar 5.21 : Fitur dapat dimasukkan dan diedit di lapangan menggunakan penerima GPS dan perangkat lunak yang sesuai (milik Trimble, Ltd.).

Tampilan portabel lapangan yang besar dan perangkat lunak pengeditan lanjutan dapat dikombinasikan dengan koreksi diferensial waktu nyata untuk meningkatkan digitalisasi lapangan. Komputer tablet tersedia dengan layar warna besar. Gambar digital yang dipindai mungkin ditampilkan dengan data digital yang ada. Data baru dapat dimasukkan melalui penerima GNSS, secara real time, atau melalui goresan pena di layar. Operator dapat mendigitalkan fitur baru, mengedit yang lama, atau melakukan beberapa kombinasi dari keduanya saat berada di lapangan. Toleransi gertakan, overshoot maksimum, dan semua kontrol digitalisasi lainnya dapat diterapkan di lapangan, sama seperti saat mendigitalkan layar di kantor.

Digitalisasi bidang GNSS paling sering digunakan untuk pengumpulan fitur titik dan garis. Garis dan titik dapat didigitasi dengan jelas menggunakan GNSS. Beberapa perbaikan posisi

memberikan akurasi yang lebih tinggi, sehingga beberapa perbaikan sering kali dikumpulkan untuk lokasi titik. Beberapa perbaikan posisi juga dapat dikumpulkan untuk simpul penting dalam data baris. Namun, pengumpulan data GNSS untuk fitur area mengalami sejumlah kesulitan unik. Pertama, dibutuhkan banyak waktu untuk melintasi suatu area, sehingga bidang yang relatif besar atau banyak bidang kecil mungkin tidak praktis untuk didigitalkan di lapangan. Kedua, masalah representasi ganda dari batas yang sama terjadi saat mendigitalkan fitur poligonal. Tidak mungkin untuk berjalan di garis yang persis sama dan mencatat koordinat yang sama saat GNSS mendigitalkan poligon baru yang berdekatan dengan poligon yang sudah didigitalisasi. Mencoba menelusuri kembali batas umum hanya membuang-buang waktu dan menyediakan data yang berlebihan dan bertentangan. Alternatifnya adalah mendigitalkan hanya baris baru, dan beralih ke "fieldnodes," seperti saat mengambil data menggunakan digitizer koordinat. Metode ini sering digunakan, dengan pengeditan berikutnya dalam GIS.

Perangkat lunak bidang GNSS sering dioptimalkan untuk merampingkan input atribut yang terkait dengan data spasial. Formulir dapat dikembangkan yang menyediakan menu, daftar pilihan, dan kotak entri variabel dalam urutan yang telah ditentukan sebelumnya. Perangkat lunak ini sering kali meningkatkan akurasi data atribut, sebagian dengan membantu menghindari kesalahan. Misalnya, opsi entri untuk atribut tertentu seperti warna hidran kebakaran mungkin dibatasi menjadi merah, hijau, atau kuning dari "daftar pilihan", jika kita tahu bahwa itu adalah satu-satunya nilai yang mungkin. Formulir entri atribut ini juga meningkatkan kelengkapan, sebagian dengan memastikan bahwa setiap variabel disajikan kepada operator, dan formulir ini juga dapat dikonfigurasi untuk menampilkan peringatan ketika semua variabel belum dimasukkan.

5.4.2 Akurasi dan Efisiensi Digitalisasi Lapangan

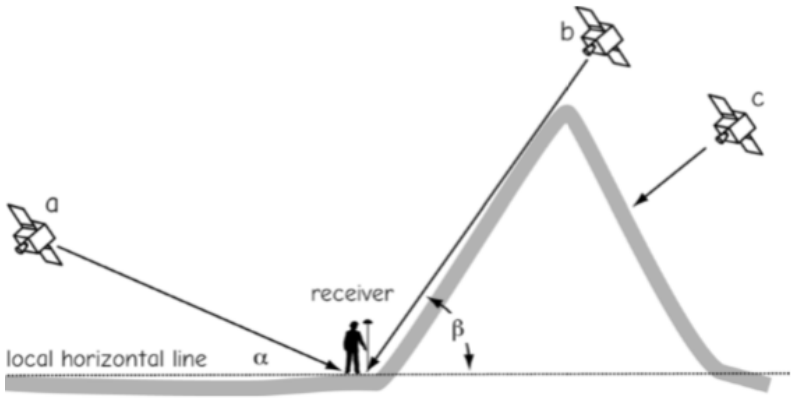
Koleksi GNSS lapangan dipengaruhi oleh langit yang terhalang. Medan, pohon, bangunan, atau objek lain menghalangi sebagian langit, menyebabkan gangguan sementara dalam penerimaan satelit, atau memaksa penerima GNSS untuk memperkirakan posisi dari kumpulan satelit yang terus berubah. Tingkat pengumpulan maksimum saat digitalisasi GNSS biasanya mendekati satu perbaikan per detik. Obstruksi dapat meningkatkan interval pengumpulan menjadi beberapa detik atau menit.

Penghalang dapat menghentikan digitalisasi bidang GNSS sepenuhnya jika mereka mengurangi jumlah satelit yang terlihat menjadi tiga atau lebih sedikit. Penghalang langit mengurangi efisiensi digitalisasi lapangan karena lebih banyak waktu dihabiskan untuk mengumpulkan sejumlah perbaikan tertentu, dan personel harus menunggu konstelasi satelit berubah ketika satelit terlalu sedikit atau terdistribusi dengan buruk. Bergantian, mereka dapat mengumpulkan lebih sedikit posisi, sehingga mengurangi akurasi posisi.

Penurunan efisiensi digitalisasi GNSS bergantung pada sifat obstruksi, jenis peralatan, konfigurasi peralatan, serta nomor dan posisi satelit. Sinyal GNSS dapat melewati dedaunan saat mengumpulkan data di bawah kanopi hutan, meskipun sinyal menjadi lebih lemah saat melewati beberapa layer kanopi. Sinyal satelit terhalang oleh batang dan cabang, meskipun satelit individu biasanya terhalang oleh batang untuk jangka waktu yang relatif singkat. Di bawah kanopi yang lebat, konstelasi satelit yang tersedia dapat sering berubah; sedikit mengubah posisi antena GNSS, dengan menaikkan atau menurunkannya, dapat menghasilkan konstelasi baru dari satelit yang terlihat. Terlepas dari upaya ini, pengurangan efisiensi

mungkin substansial, dua kali lipat atau tiga kali lipat waktu pengumpulan, tetapi waktu pengumpulan tunggal jarang membutuhkan waktu lebih dari beberapa detik hingga beberapa menit ketika kanopi hutan adalah penghalang utama langit. Waktu pengumpulan akan meningkat seiring ketika beberapa perbaikan diperlukan per fitur, seperti saat mengumpulkan 100 perbaikan untuk setiap fitur poin.

Medan dapat memblokir satelit, dan ini menjadi masalah yang signifikan ketika satelit yang diblokir lebih besar dari 15° di atas bidang horizontal lokal. Satelit yang kurang dari 15° di atas bidang horizontal lokal memiliki penggunaan terbatas, bahkan dalam kondisi terbuka, karena mereka menunjukkan kesalahan jarak yang besar. Interferensi atmosfer diperbesar pada sudut cakrawala rendah, yang secara substansial mengurangi akurasi GNSS. Penerima GNSS yang dirancang untuk pengumpulan data GIS biasanya menyediakan pengaturan yang secara otomatis menolak satelit di bawah sudut horizon yang ditentukan.



Gabar 5.22: Sinyal satelit GPS mungkin diblokir oleh medan atau bangunan yang dibangun. Ini mengurangi konstelasi satelit yang tersedia, meningkatkan kesalahan, dan mengurangi efisiensi pengumpulan. Di sini, satelit a dan b terlihat dengan sudut cakrawala lokal yang sesuai dari of dan . Sinyal dari satelit c diblokir oleh medan lokal.

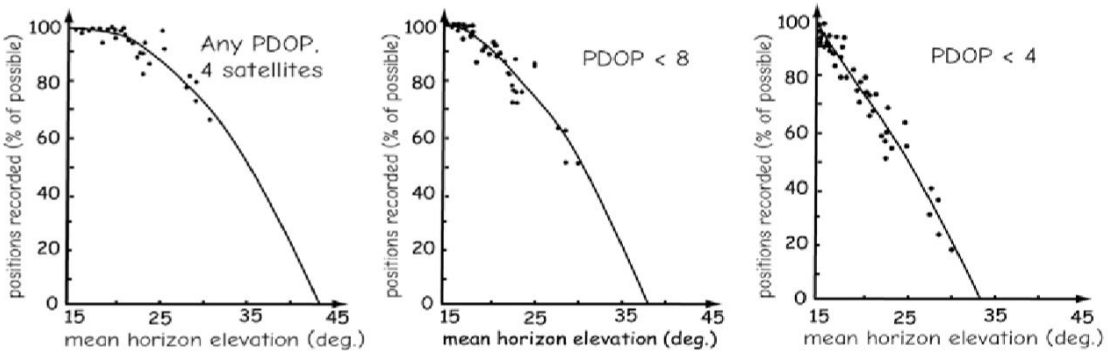
Hambatan medan sering kali naik di atas 15°, seperti ketika gunung, lereng bukit, atau dinding ngarai mengurangi jumlah satelit GNSS yang terlihat Obstruksi medan sering mengurangi efisiensi dan akurasi pengumpulan. Karena sinyal GNSS tidak melewati tanah, batu, kayu, atau beton, satelit yang terhalang tidak dapat digunakan untuk penentuan posisi GNSS. Dalam beberapa kasus, menunggu sebentar dapat mengakibatkan penyusunan ulang konstelasi satelit, seperti dari titik c ke titik b pada Gambar diatas. Namun, rata-rata, langit yang terhalang menghasilkan konstelasi satelit GNSS yang berkurang dan PDOP yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan medan datar. Masalah ini sangat menjengkelkan di lingkungan perkotaan karena sudut cakrawala berubah secara substansial dalam jarak pendek. Hal ini membuat sulit untuk memprediksi kapan cakupan satelit GNSS akan memadai, dan dengan demikian merencanakan upaya pengumpulan data.

Efek hutan dan medan dapat terjadi bersamaan, selanjutnya mengurangi akurasi dan menurunkan efisiensi. Ini adalah kejadian umum di daerah berhutan, pegunungan, dan di daerah perkotaan dengan gedung-gedung tinggi dan pepohonan dewasa. Inventarisasi hutan dan perkotaan mungkin secara substansial terhambat oleh kombinasi penghalang medan, bangunan, dan kanopi.

Penggunaan tiang jangkauan mungkin merupakan metode yang paling mudah, paling umum, dan paling efektif untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan. Tiang jangkauan adalah tiang yang dapat diperpanjang di mana antena GNSS dipasang. Menaikkan antena seringkali memberikan konstelasi satelit yang lebih baik. Ini dapat membantu dalam kondisi non-hutan untuk mengurangi sudut horizon, misalnya, dengan menaikkan antena di atas struktur yang relatif pendek di dekat titik pengumpulan.

Tiang jarak sering sangat efektif dalam kondisi perkotaan dan hutan, di mana celah kanopi dan penghalang bangunan bervariasi secara vertikal. Tiang jangkauan memfasilitasi pencarian satu set satelit yang dapat diterima. Antena dinaikkan dan diturunkan selama pengumpulan data karena konstelasi satelit berubah seiring waktu dan jeda yang lama ditemui. Sebuah tiang jangkauan mungkin paling berguna ketika mendigitalkan fitur titik atau simpul penting dalam fitur garis, ketika penerima tetap diam.

Tiang genggam atau yang dipasang di ransel biasanya meningkatkan efisiensi saat digitalisasi dengan GNSS dengan menaikkan antena hanya beberapa meter dari tanah, menghindari penghalang rendah seperti tubuh dan tengkorak tebal manusia yang membawa penerima GNSS.



Gambar 5.23 : Persentase penentuan posisi GPS yang berhasil dikumpulkan menurun di lembah, atau di lokasi lain di mana sudut ke cakrawala meningkat. Ini mungkin agak diimbangi dengan mengizinkan PDOP yang lebih kecil (lebih besar), seperti yang ditunjukkan pada gambar paling kiri vs. paling kanan di atas (diadaptasi dari Scrinzi dan Floris, 1998).

Seringkali ada trade-off antara akurasi dan efisiensi selama digitalisasi lapangan, terutama di lokasi yang terhalang. Rangkaian grafik ini menunjukkan data yang dikumpulkan oleh Scrinzi dan Floris (1998), di dataran kasar dan di bawah kanopi hutan. Mereka menemukan bahwa 100% dari kemungkinan perbaikan dapat dikumpulkan ketika sudut horizon rata-rata mendekati 15°. Mereka juga mengumpulkan data di berbagai titik di medan berbukit, di mana sudut cakrawala lebih besar karena pegunungan dan punggung bukit menghalangi bagian bawah langit. Efisiensi turun mendekati 70% karena sudut horizon rata-rata meningkat mendekati 30° (grafik paling kiri, Gambar diatas). Pengumpulan membutuhkan waktu sekitar 30% lebih lama atau perbaikan 30% lebih jarang dilakukan saat berada di lokasi lembah dibandingkan dengan medan datar. Namun, grafik paling kiri memberikan perkiraan optimis karena menunjukkan efisiensi saat menerima perbaikan dengan PDOP apa pun. Karena kami tahu akurasi menurun pada PDOP yang lebih tinggi, kami sering menetapkan ambang batas PDOP maksimum. Ini meningkatkan akurasi dan meningkatkan waktu pengumpulan saat menggunakan GNSS.

Grafik tengah dan kanan pada Gambar diatasmenunjukkan peningkatan dampak sudut cakrawala saat menjaga PDOP di bawah ambang batas yang ditentukan. Grafik tengah menunjukkan bahwa efisiensi pengumpulan turun lebih cepat ketika ambang batas PDOP ditetapkan pada 8. Efisiensi pengumpulan adalah sekitar 50% ketika sudut horizon rata-rata 30° - dengan kata lain, dibutuhkan kira-kira dua kali lebih lama untuk mengumpulkan jumlah data yang sama, atau kira-kira setengah dari perbaikan dikumpulkan dalam jumlah waktu yang sama. Efek ini diperbesar ketika PDOP dibatasi kurang dari 4 (Gambar grafik kanan). Kira-kira 20% dari kemungkinan penetapan posisi dicatat pada sudut medan rata-rata 30° dan ambang PDOP 4, menunjukkan hanya satu dari lima penetapan posisi yang akan diperoleh. Sementara Gambar dibuat dengan penerima spesifik berkualitas tinggi yang dioptimalkan untuk digitalisasi lapangan, pola umum berlaku untuk semua sistem GNSS yang tersedia saat ini - efisiensi menurun di medan yang terhalang, dan laju penurunan perubahan dengan PDOP yang diizinkan. Seiring dengan peningkatan penerima GNSS, dan dapat mengukur GPS, GLONASS, dan Galileo GNSS secara bersamaan, efisiensi dan akurasi di lingkungan yang terhalang akan meningkat secara substansial.

Kami dapat meningkatkan efisiensi digitalisasi GNSS dengan mengubah PDOP dan ambang batas kekuatan sinyal, tetapi ini sering kali mengorbankan akurasi yang menurun. Seperti yang ditunjukkan di atas, menerima PDOP yang lebih tinggi meningkatkan jumlah perbaikan yang direkam, tetapi dengan akurasi yang lebih rendah. Penerima canggih memungkinkan beberapa pengaturan; PDOP target, di atasnya penerima akan mencari konstelasi satelit yang lebih baik, dan PDOP maksimum, di atasnya pengumpulan data akan dihentikan. Hal ini memungkinkan pengguna untuk menyeimbangkan trade-off antara akurasi dan efisiensi.

Beberapa penerima GNSS memungkinkan penyesuaian ambang untuk kekuatan sinyal yang dapat diterima. Misalnya, sinyal satelit yang melewati kanopi hutan lebih lemah. Memasukkan sinyal yang lebih lemah ini akan meningkatkan jumlah dan seringkali distribusi satelit, sehingga meningkatkan efisiensi pengumpulan dan mungkin akurasi. Namun, sinyal lemah juga dapat dihasilkan dari transmisi yang dipantulkan atau multipath. Seperti dijelaskan sebelumnya, sinyal multipath memiliki error jangkauan yang lebih besar. Menurunkan ambang batas untuk kekuatan sinyal yang dapat diterima kemungkinan akan meningkatkan kesalahan posisi, karena meningkatkan kemungkinan pengukuran multipath. Namun, beberapa data seringkali lebih baik daripada tidak sama sekali, dan menurunkan ambang PDOP untuk pengumpulan terkadang merupakan satu-satunya cara untuk mengumpulkan data. Dalam beberapa kasus, menurunkan ambang PDOP dapat meningkatkan akurasi, jika PDOP jauh lebih rendah dapat dicapai, dan efek multipath tidak parah.

Penerima GNSS yang dirancang khusus untuk pengumpulan data GIS dapat dilengkapi dengan antena sensitif yang juga mengurangi penerimaan multi jalur. Produsen telah berinvestasi secara substansial dalam mengoptimalkan desain antena dan sistem pengumpulan untuk mengontrol beberapa trade-off ini. Ketersediaan antena yang dioptimalkan secara khusus adalah perbedaan utama antara receiver tingkat GIS dan receiver rekreasi yang harganya jauh lebih murah. Penerima rekreasi secara substansial kurang akurat di medan yang terhalang, dan pengguna memiliki sedikit kendali atas bagaimana data dikumpulkan. Ambang batas penerima rekreasional untuk kekuatan sinyal atau PDOP sering kali dikonfigurasi untuk efisiensi tertinggi dan dengan demikian akurasi terendah dalam kondisi terhalang, dan ambang batas ini sering kali tidak dapat disesuaikan oleh pengguna. Terlepas dari peralatannya, ada trade-off antara kekuatan sinyal yang dapat diterima dan pengenalan

kesalahan multipath. Menetapkan PDOP maksimum yang dapat diterima lebih tinggi atau ambang batas kekuatan sinyal yang dapat diterima lebih rendah akan meningkatkan efisiensi pengumpulan, tetapi seringkali dengan biaya peningkatan kesalahan

5.4.3 Integrasi Pengintai

Ada batasan lain untuk pengumpulan data GNSS. Misalnya, kebutuhan untuk menempati setiap simpul dan simpul di lapangan adalah kelemahan utama dari digitalisasi GNSS. Kadang-kadang mungkin berbahaya untuk menempatkan penerima GNSS secara fisik di setiap titik, misalnya, ketika aliran yang akan didigitalkan berada di lapangan yang penuh dengan kerbau. Fitur mungkin sulit dijangkau, menghabiskan lebih banyak waktu dalam perjalanan daripada dalam pengumpulan data GNSS. Ini sangat umum ketika fitur titik yang akan didigitalisasi tersebar luas. Fitur-fiturnya mungkin banyak, saling terlihat, tetapi dipisahkan oleh penghalang, misalnya, urutan tiang pagar atau tiang listrik di sisi berlawanan dari jalan raya akses terbatas.

Perangkat pengukur periferal, seperti pengukur jarak laser, dapat dipasang ke pengumpul data GNSS untuk meningkatkan pengumpulan data lapangan secara substansial. Perangkat ini biasanya mengukur jarak dengan laser dan mengukur arah dengan kompas. Pengukuran dilakukan dari setiap titik GNSS yang ditempati ke fitur terdekat yang menarik. Perhitungan koordinat target seringkali otomatis karena arah diukur dengan kompas elektronik terintegrasi. Pengintai diarahkan ke fitur yang akan didigitalisasi. Sistem menghitung posisi pengamat dari GNSS, dan posisi ini digabungkan dengan pengukuran jarak dan sudut dalam geometri koordinat untuk menghitung koordinat fitur. Orang yang mengoperasikan GNSS / laser rangefinder dapat berdiri di satu lokasi dan mengumpulkan posisi untuk beberapa hingga puluhan fitur, sehingga menghemat waktu perjalanan yang substansial. Sistem ini paling sering digunakan untuk menginventarisasi fitur titik seperti tiang utilitas, rambu, sumur, pohon, atau bangunan.

Tersedia pengukur jarak laser yang dapat mengukur fitur pada jarak hingga 600 m (2000 kaki). Akurasi yang direalisasikan tergantung pada kualitas penerima GNSS dan subsistem pengukur jarak, namun akurasi submeter dimungkinkan dalam kondisi langit terbuka

5.4.4 Pengukuran Tinggi GNSS

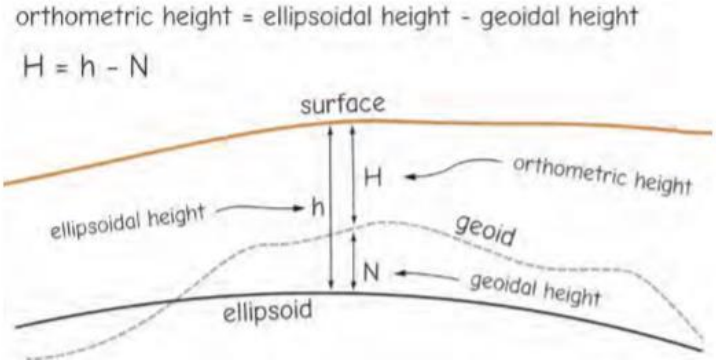
GNSS seringkali merupakan cara termudah untuk mengukur ketinggian baru, tetapi perawatan harus dilakukan untuk memastikan ketinggian relatif terhadap datum vertikal yang sesuai. Ketinggian GNSS biasanya ditentukan sebagai ketinggian di atas ellipsoid, atau HAE, dan banyak penerima GPS yang lebih murah tidak memiliki opsi untuk melaporkan ketinggian lainnya. Referensi ketinggian standar disini adalah datum vertikal dan bukan ellipsoid, jadi kami harus mengubah HAE menjadi ketinggian ortometrik di atas datum sebelum sebagian besar digunakan. Kami menghitung tinggi ortometrik melalui rumus:

$$H = h - N$$

GPS menyediakan h, ketinggian ellipsoidal, dan kami dapat menggunakan model spasial yang dikembangkan oleh sebagian besar pemerintah untuk memperkirakan N, ketinggian geoidal, untuk lokasi mana pun. Di AS, model ini telah dikembangkan dan didokumentasikan oleh National Geodetic Survey, dan tersedia di halaman geoid (http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/). Model-model ini telah dimasukkan ke dalam sebagian besar penerima GNSS yang dirancang

untuk pengumpulan data GIS, sehingga konversi mungkin transparan, atau tersedia sebagai pengaturan sistem.

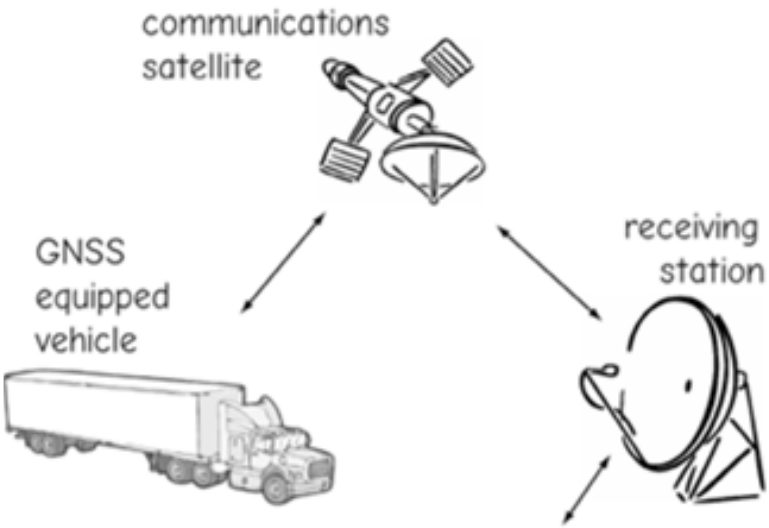
Jika penerima tidak mendukung estimasi ketinggian geoidal, dan jika pengguna tidak memiliki akses ke komputasi atau perangkat lunak yang diperlukan untuk model geoid NGS, seseorang dapat memperkirakan ketinggian geoid dengan merujuk titik kontrol terdekat. Ketinggian geoidal tidak bervariasi dengan cepat di seluruh ruang untuk sebagian besar wilayah dunia, dan variabilitas spasial ketinggian geoidal dapat diperkirakan dengan mengambil ketinggian untuk beberapa titik kontrol NGS terdekat. Ketinggian geoidal terdekat, rata-rata, atau kombinasi serupa dapat digunakan dalam rumus diatas untuk menghitung tinggi ortometrik

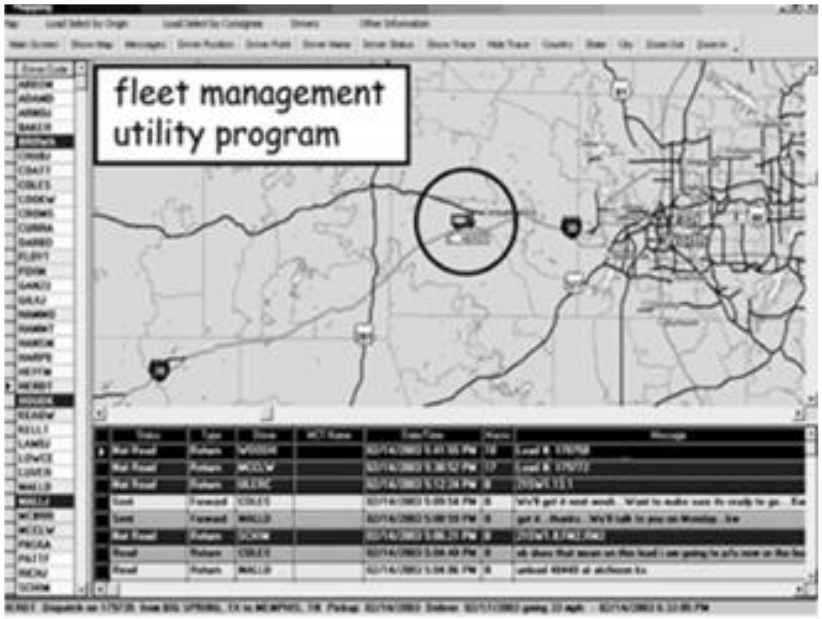


Gambar 5.24: Perhitungan tinggi ortometrik dari tinggi ellipsoidal. Sebagian besar sistem GNSS melaporkan ketinggian ellipsoidal, yang harus dikonversi ke ketinggian ortometrik sebelum digunakan. Kami dapat memperkirakan ketinggian geoid dengan beberapa cara, termasuk model geoid yang dikembangkan, atau titik kontrol geodetik terdekat

5.4.5 Pelacakan GNSS

Pelacakan GNSS orang, kendaraan, paket, atau hewan adalah aplikasi GNSS yang inovatif dan terus berkembang. Penerima GNSS secara rutin ditempatkan di truk, kapal, bus, kapal, atau kendaraan transportasi lainnya. Penerima ini sering merupakan bagian dari sistem yang mencakup informasi tentang kondisi lokal, kecepatan perjalanan, dan mungkin kondisi peralatan atau kargo yang dikirim.





Gambar 5.25 : Pelacakan waktu nyata melalui GPS secara substansial meningkatkan manajemen armada kendaraan, terutama bila digabungkan dengan data lain di GIS.

Pelacakan GNSS untuk individu atau armada kendaraan biasanya melibatkan sejumlah subsistem. Penerima GNSS dan pemancar radio harus ditempatkan pada setiap kendaraan untuk merekam dan mengirimkan posisi. Jaringan penerima satelit atau darat mengumpulkan dan mengirimkan data posisi dan lainnya ke komputer yang menjalankan program pelacakan dan manajemen yang dapat digunakan untuk menampilkan, menganalisis, dan mengontrol pergerakan kendaraan. Informasi atau instruksi dapat diteruskan kembali ke kendaraan di jalan.

Manajemen kendaraan yang dibantu GNSS dapat dikombinasikan dengan data spasial lainnya dalam kerangka GIS untuk menambah nilai yang sangat besar pada analisis spasial. Lokasi kendaraan dapat dipantau secara real time, dan dibandingkan dengan lokasi pengiriman. Perencanaan pengiriman dapat dioptimalkan dan jendela pengiriman ditentukan dengan akurasi yang jauh lebih tinggi. Hal ini pada gilirannya dapat secara substansial mengurangi biaya, meningkatkan pengumpulan data, dan meningkatkan keuntungan untuk bisnis yang berpartisipasi. Transportasi dapat dikirim dengan lebih efisien, masalah yang berulang dianalisis, dan solusi yang disesuaikan secara lebih efektif.

GNSS juga semakin banyak diterapkan untuk melacak organisme individu. Ini merevolusi analisis pergerakan hewan karena frekuensi dan kepadatan titik yang mungkin dikumpulkan. Lebih banyak perbaikan posisi dapat dikumpulkan dalam sebulan menggunakan peralatan GNSS daripada yang dikumpulkan dalam satu dekade menggunakan metode alternatif. Analisis pergerakan hewan telah lama didasarkan pada pengamatan individu yang dapat dikenali. Setiap kali hewan yang diketahui terlihat, lokasinya dicatat. Akan tetapi, jumlah penentuan posisi sering kali rendah, karena beberapa hewan sulit dikenali, sulit ditemukan, atau hidup di area dengan vegetasi yang lebat atau medan yang bervariasi. Alternatif awal untuk pengamatan manusia langsung didasarkan terutama pada radiotelemetri. Radiotelemetri melibatkan penggunaan unit radio pemancar dan penerima untuk menentukan lokasi hewan. Radio pemancar dipasang pada hewan, dan teknisi di lapangan

menggunakan penerima radio untuk menentukan posisi hewan. Pengukuran dari beberapa arah digabungkan dan perkiraan lokasi hewan dapat diplot.

Pelacakan hewan GNSS adalah peningkatan substansial dari metode sebelumnya. Unit GNSS cocok untuk hewan, biasanya dengan tali kekang atau kerah. Hewan-hewan dilepaskan, dan informasi posisi direkam oleh penerima GNSS. Interval pencatatan bervariasi, dari setiap beberapa menit hingga setiap beberapa hari, dan data dapat diunduh secara berkala melalui tautan radio. Sistem dapat diatur dengan mekanisme drop otomatis atau radioaktif, sehingga data dapat diunduh dan penerima digunakan kembali. Meskipun baru dikembangkan, unit pelacakan hewan berbasis GNSS saat ini digunakan di semua benua dalam studi spesies yang terancam, hampir punah, atau penting. Penggunaan imajinatif GNSS muncul hampir setiap hari karena teknologi ini merevolusi pengumpulan data posisi. Peralatan GNSS telah dihubungkan dengan peralatan pemanen biji-bijian. Produksi biji-bijian dicatat selama panen, sehingga hasil dan kualitas biji-bijian dipetakan setiap beberapa meter di lahan pertanian. Hal ini memungkinkan petani untuk menganalisis dan meningkatkan produksi pada basis spesifik lokasi, misalnya, dengan menyesuaikan aplikasi pemupukan untuk setiap meter persegi di lapangan. Campuran pupuk dapat berubah sesuai posisi, sekali lagi dikendalikan oleh penerima GNSS dan perangkat lunak yang dibawa di atas traktor.

5.5 KESIMPULAN

GNSS adalah sistem penentuan posisi berbasis satelit. Ini terdiri dari segmen pengguna, kontrol, dan satelit, dan memungkinkan lokasi posisi yang tepat dengan cepat dan dengan akurasi tinggi.

GNSS didasarkan pada pengukuran jangkauan. Pengukuran rentang ini berasal dari pengukuran sinyal siaran yang dapat dikodekan atau tidak dikodekan. Sinyal fase pembawa yang tidak dikodekan adalah dasar untuk penentuan posisi yang paling tepat, tetapi penggunaannya terbatas untuk menemukan fitur karena persyaratan pengukuran. Pengukuran fase kode terutama digunakan untuk pengumpulan fitur dan masuk ke GIS. Rentang pengukuran dari beberapa satelit dapat digabungkan untuk memperkirakan posisi.

Perkiraan posisi GNSS mengandung kesalahan karena ketidakpastian posisi satelit, gangguan atmosfer dan ionosfer, reflektansi multipath, dan geometri satelit yang buruk. Ketidakpastian ini bervariasi dalam ruang dan waktu

Ada sejumlah cara untuk memastikan keakuratan tertinggi saat mengumpulkan data GNSS. Mungkin peningkatan terbesar berasal dari koreksi posisi GNSS yang berbeda. Koreksi diferensial didasarkan pada pengukuran GNSS simultan di lokasi dasar yang diketahui dan di lokasi lapangan yang tidak diketahui. Kesalahan dihitung untuk setiap perbaikan posisi di stasiun pangkalan, dan dikurangkan ke kumpulan lapangan untuk meningkatkan akurasi. Akurasi juga dapat ditingkatkan dengan mengumpulkan dengan PDOP rendah, rata-rata perbaikan beberapa posisi untuk setiap fitur, menghindari sinyal multipath atau horizon rendah, dan menggunakan penerima GNSS yang dioptimalkan untuk pengumpulan data GIS yang akurat.

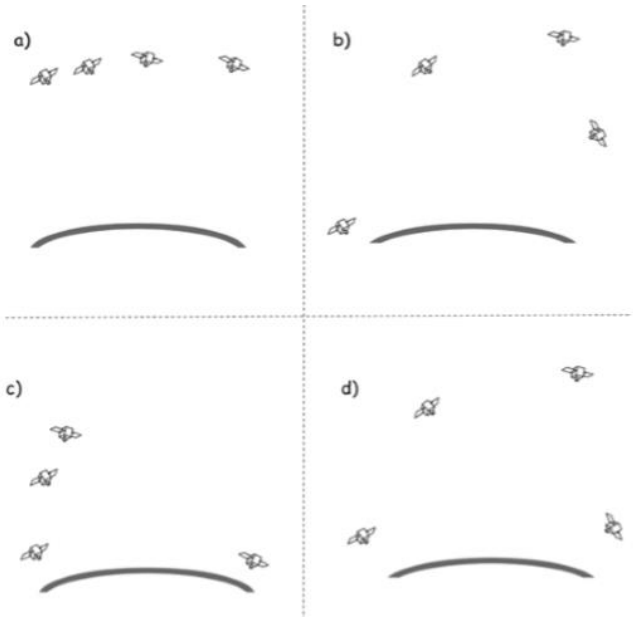
GNSS paling sering digunakan di GIS untuk mendigitalkan fitur di lapangan, baik untuk pengumpulan data primer, untuk memperbarui data yang ada, atau untuk pengumpulan data sekunder untuk mendukung pembuatan ortoimage. Medan, bangunan, atau kanopi pohon

biasanya menghalangi langit, sehingga mengurangi keakuratan dan efisiensi. Memodifikasi PDOP dan ambang kekuatan sinyal untuk memperhitungkan penghalang ini dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan, tetapi seringkali dengan mengorbankan akurasi yang berkurang. Antena khusus dan bantuan firmware, dan ini biasanya tersedia pada receiver kelas GIS, tetapi tidak pada receiver komersial.

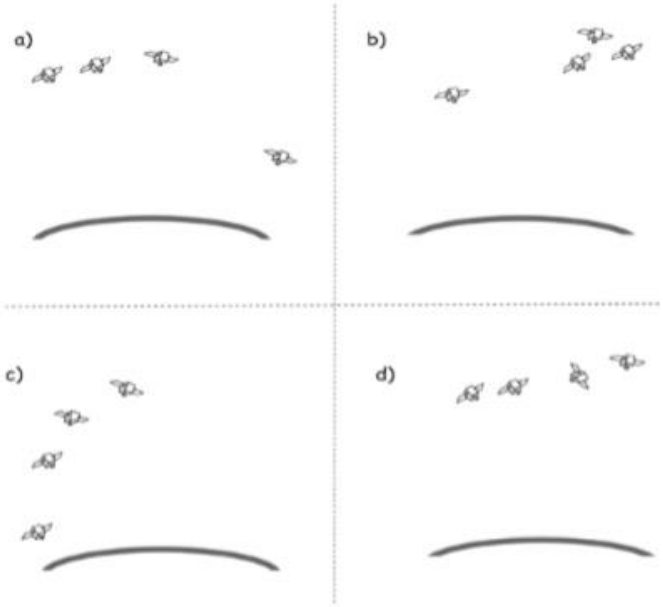
Penerima GNSS juga digunakan untuk pelacakan, navigasi, dan survei lapangan. Aplikasi pelacakan kendaraan memerlukan GNSS, transmisi, dan subsistem interpretasi, dan diterapkan secara luas. Pergerakan hewan dan manusia semakin dilacak melalui GNSS

5.6 Soal Latihan

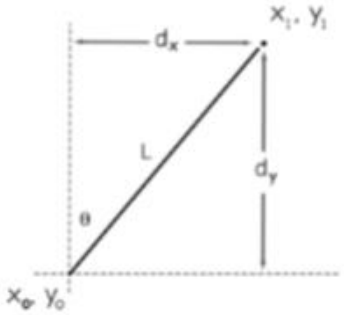
1. Jelaskan komponen umum GNSS, termasuk tiga segmen umum dan apa yang mereka lakukan.
2. Apa prinsip dasar di balik pemosisian GNSS? Apa yang dimaksud dengan pengukuran rentang, dan bagaimana hal itu membantu Anda menemukan diri Anda sendiri?
3. Jelaskan sinyal GNSS yang disiarkan, dan perbedaan mendasar antara sinyal pembawa dan kode.
4. Berapa banyak satelit yang harus Anda ukur untuk mendapatkan penentuan posisi tiga dimensi?
5. Apa sumber utama dan besaran relatif ketidakpastian dalam penentuan posisi GNSS?
6. Seberapa akurat penentuan posisi GNSS? Pastikan Anda menentukan rentang, dan menjelaskan dalam kondisi apa keakuratan berada di ujung atas dan bawah rentang.
7. Apa yang dimaksud dengan *dilution of precision* (DOP)? Bagaimana pengaruhnya terhadap pengukuran posisi GNSS?
8. Manakah dari gambar berikut yang menggambarkan PDOP terendah dan tertinggi, dengan asumsi pengamat berada di dekat pusat permukaan yang digambar?



9. Apa urutan peringkat, tertinggi hingga terendah, untuk akurasi data GNSS yang diberikan konstelasi satelit pada gambar berikut, dengan asumsi pengamat berada di dekat pusat permukaan yang ditarik?

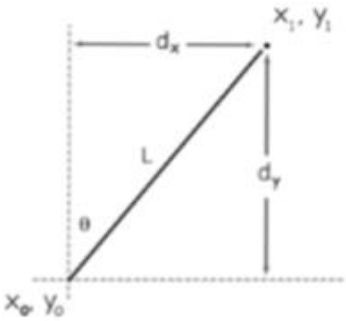


10. Jelaskan prinsip dasar di balik pemosisian diferensial.
11. Apa perbedaan antara pemosisian diferensial pascaproses dan waktu nyata?
12. Bagaimana akurasi GNSS dipengaruhi oleh horizon medan lokal? Bagaimana pengaruhnya terhadap tutupan kanopi atau penghalang bangunan? Mengapa akurasi posisi berubah saat kondisi ini berubah?
13. Bagaimana keakuratan dan efisiensi data GNSS (poin yang dikumpulkan per interval waktu tertentu) terkait saat mengumpulkan data di lingkungan yang terhalang? Mengapa? Bagaimana ini dikendalikan oleh personel lapangan?
14. Apa itu WAAS? Apakah lebih baik atau lebih buruk daripada pemosisian diferensial berbasis darat?
15. Mengapa perangkat pengukur jarak dan offset digunakan saat mengumpulkan data GNSS?
16. Apa itu COGO?
17. Lengkapi tabel di bawah ini, hitung elemen yang hilang menurut rumus yang disajikan dalam bab ini. Jarak dalam meter, sudut dalam derajat.



x_0	y_0	θ	L	d_x	d_y	x_1	y_1
10	20	30	500	250.0	433.0	260.0	453.0
400	97	60	1012	876.4	506.0		
937	12	84	1524	1515.7			
1540	1088	45	85				496.7
369	280	10	220				

18. Lengkapi tabel di bawah ini, hitung elemen yang hilang menurut rumus yang disajikan dalam bab ini. Jarak dalam meter, sudut dalam derajat.



x_0	y_0	θ	L	d_x	d_y	x_1	y_1
0	0	70	100	94.0	34.2	94.0	34.2
15	35	15	130	33.6	125.6		
400	0	45	200	141.4			
150	80	66	20				88.1
10	25	88	12				

5.7 Daftar Pustaka

Abidin, H. (2002). Fundamentals of GPS signals and data. In Bossler, J. (Ed.). Manual of Geospatial Science and Technology. London: Taylor and Francis.

Bergstrom, G. (1990). GPS in forest management. GPS World, 10:46–49.

Bobbe, T. (1992). Real-time differential GPS for aerial surveying and remote sensing. GPS World, 4:18–22.

Deckert, C.J. & Bolstad, P. V. (1996). Forest canopy, terrain, and distance effects on global positioning system point accuracy. Forest Science, 62:317–321.

Dominy, N.J., & Duncan, B. (2002). GPS and GIS in an African rain forest: Applications to tropical ecology and conservation. Conservation Ecology, 5:537-549.

Dow, J.M., Neilan, R.E, & Rizos, C. (2009). The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. Journal of Geodesy 83:191–198.

Dwolatzky, B., Trengove, E., Struthers, H., McIntyre, J.A., & Martinson, N.A. (2006). Linking the global positioning system (GPS) to a personal digital assistant (PDA) to support tuberculosis control in South Africa: a pilot study. International Journal of Health Geographics, 5:34.

Gao, J., & Liu, Y.S. (2001). Applications of remote sensing, GIS and GPS in glaciology: a review. Progress in Physical Geography, 25:520–540.

Gao, J. (2002). Integration of GPS with remote sensing and GIS: Reality and prospect. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68:447–453.

Kaplan, E.D., & Hegarty, C. J.(2006). Understanding GPS: Principles and Applications. Norwood: Artech House.

Fix, R. A. & Burt, T. P. (1995). Global Positioning Systems: an effective way to map a small area or catchment. Earth Surface Processes and Landforms, 20:817–827.

Jagadeesh, G.R., Srikanthan, T. & Zhang, X.D. (2004). A map matching method for GPS based real-time vehicle location. Journal of Navigation, 57:429–440.

Johnson, C.E. & Barton, C.C. (2004). Where in the world are my field plots? Using GPS effectively in environmental field studies. Frontiers in Ecology & the Environment, 2:475–482.

Hurn, J. (1989). GPS, a guide to the next utility. Sunnyvale: Trimble Navigation Ltd. Kennedy, M. (1996). The Global Positioning System and GIS.

Ann Arbor: Ann Arbor Press. Mintsis, G., Basbas, S., Papaioannou, P., Taxiltaris, C., & Tziavos, N. (2004). Applications of GPS technology in the land transportation system. European Journal of Operational Research, 152:399–409.

Naesset, E., & Jonbeister, T. (2002). Assessing point accuracy of DGPS under forest canopy before data acquisition, in the field, and after processing. Scandinavian Journal of Forest Research, 17:351–358.

Scrinzi, G., & Floris, A. (1998). Global Positioning Systems (GPS), una nuova realtà nel rilevamento forestale, Atti del Convegno "Nuovi orizzonti per l'assestamento forestale" 14–56.

Small, E.D., Wilson, J.S., & Kimball, A.J. (2007). Methodology for the re-location of permanent plot markers using spatial analysis. Northern Journal of Applied Forestry, 24:30–36.

Thirgood, S., Mosser, A., Tham, S., Hopcraft, G., Mwangomo, M., Mlengeya, T., Kilewo,M., Fryxell, J., Sinclair,A.R.E., and Borner, M. (2004). Can parks protect migratory ungulates? The case of the Serengeti wildebeest. Animal Conservation, 7:113–120.

Welch, R., Remillard, M., & Alberts, J. (1992). Integration of GPS, remote sensing, and GIS techniques for coastal resource management. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58:1571–1578.

Wilson, J.P., Spangrud, D.S., Nielsen, G.A., Jacobsen, J.S., & Tyler, D.A. (1998). GPS sampling intensity and pattern effects on computed terrain attributes. Soil Science Society of America Journal, 62:1410–1417.

Zygmont, J. (1986). Keeping tabs on cars and trucks. High Technology, 18–23.

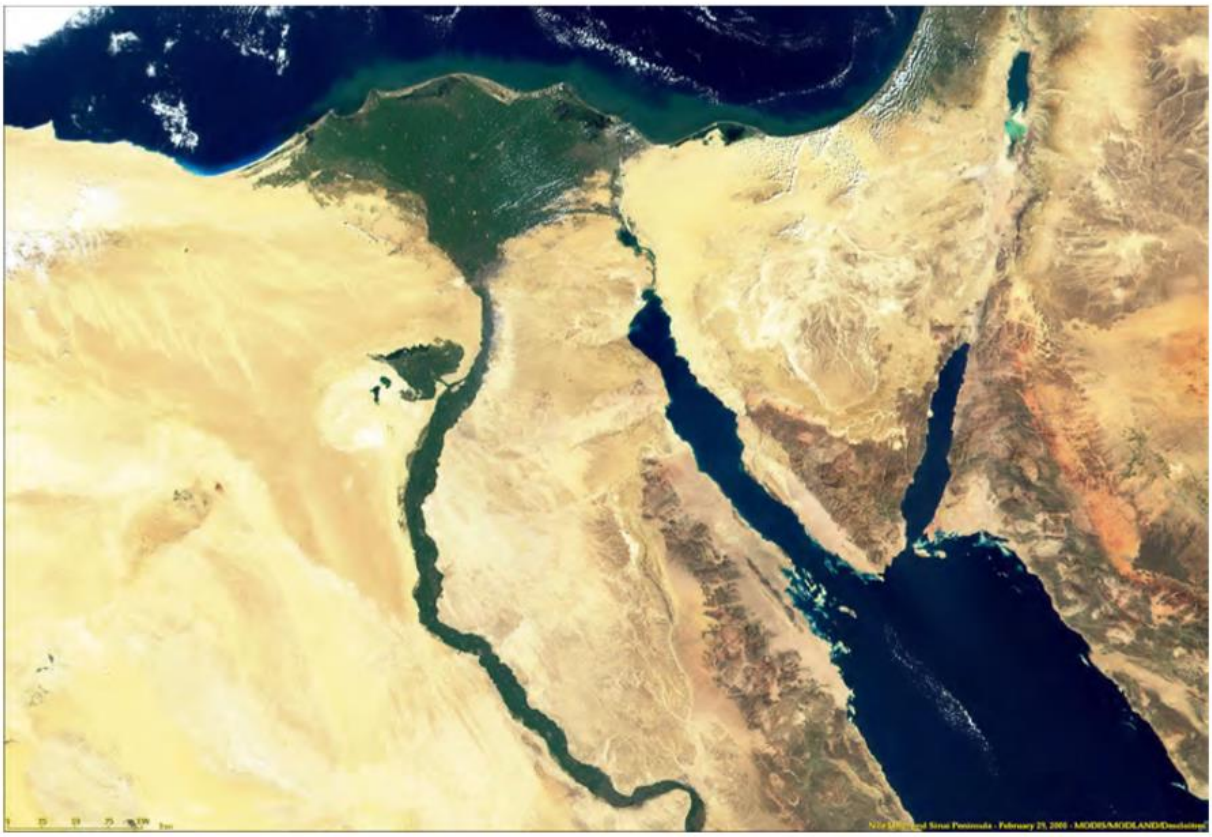
BAB 6
GAMBAR SATELIT DAN UDARA

6.1 Pendahuluan

Gambar udara dan satelit merupakan sumber data yang berharga dan umum untuk GIS. Gambar-gambar ini adalah data yang direkam dari jarak jauh; dengan demikian, foto dan *gambar* satelit sering disebut sebagai data penginderaan jauh. Data penginderaan jauh datang dalam berbagai bentuk; namun, dalam konteks GIS kami biasanya menggunakan istilah untuk menggambarkan gambar udara yang diambil dari pesawat terbang menggunakan film atau kamera digital, atau gambar satelit yang direkam dengan pemindai satelit. Hingga tahun 1970-an, sebagian besar gambar pemetaan diambil dengan film dan kamera udara. Kamera udara digital sekarang menjadi sumber gambar utama dan telah menggantikan sebagian besar kamera film. Selain itu, pemindai satelit yang mencakup berbagai resolusi mulai digunakan secara luas. Apa pun asalnya, *gambar* adalah sumber informasi spasial yang kaya dan telah digunakan sebagai dasar pemetaan selama lebih dari tujuh dekade.

Gambar penginderaan jauh adalah sumber data spasial yang berharga karena berbagai alasan, termasuk:

Cakupan area yang luas – gambar menangkap data dari area yang luas dengan biaya yang relatif rendah dan dengan cara yang seragam. Misalnya, diperlukan waktu berbulan-bulan untuk mengumpulkan data survei tanah yang cukup untuk menghasilkan peta topografi seluas 10 km2 secara akurat. Gambar dari wilayah dengan ukuran ini dapat dikumpulkan dalam beberapa menit dan data topografi diekstraksi dan diinterpretasikan dalam beberapa minggu.



Gambar 6.1: Gambar adalah sumber data spasial yang berharga. Gambar atas, berpusat di timur laut Mesir, menggambarkan cakupan wilayah yang luas yang disediakan oleh data satelit. Gambar piramida di Mesir yang lebih rendah menggambarkan detail spasial yang tinggi yang dapat diperoleh (milik NASA, atas, dan Pencitraan Luar Angkasa, bawah).

Jangkauan spektral yang diperluas – foto dan pemindai dapat mendeteksi cahaya dari panjang gelombang di luar jangkauan penglihatan manusia. Beberapa jenis foto udara peka terhadap panjang gelombang inframerah, bagian dari spektrum cahaya yang tidak dapat dirasakan oleh mata manusia. Pemindai udara dan satelit merasakan rentang spektrum yang lebih luas, hingga panjang gelombang termal dan seterusnya. Rentang spektral yang diperluas ini memungkinkan kita untuk mendeteksi fitur atau fenomena yang tampak tidak terlihat oleh mata manusia.

Akurasi geometris - data penginderaan jauh dapat diubah menjadi data spasial yang akurat secara geometris. Gambar udara adalah sumber dari banyak peta area luas kami yang paling akurat. Di sebagian besar kondisi, gambar udara mengandung distorsi geometrik karena ketidaksempurnaan pada kamera, lensa, atau sistem film, atau karena kemiringan kamera atau variasi medan di area target. Pemindai satelit juga mungkin mengandung kesalahan karena peralatan pencitraan atau platform satelit. Namun, metode penghilangan distorsi sudah mapan, dan memberikan data spasial yang sangat akurat dari gambar. Kamera dan pemindai gambar telah dikembangkan secara khusus untuk tujuan pemetaan kuantitatif. Sistem ini digabungkan dengan teknik untuk mengidentifikasi dan menghilangkan sebagian besar kesalahan spasial pada *gambar* udara atau satelit, sehingga data yang akurat secara spasial dapat dikumpulkan dari citra.

Catatan permanen – sebuah gambar tetap dalam waktu, sehingga kondisi pada saat foto dapat dianalisis beberapa tahun kemudian. Perbandingan kondisi pada beberapa tanggal, atau penentuan kondisi pada tanggal tertentu di masa lalu seringkali cukup berharga, dan *gambar* penginderaan jauh seringkali merupakan sumber informasi sejarah yang paling akurat.

6.1 Prinsip Dasar

Bentuk paling umum dari penginderaan jauh didasarkan pada energi elektromagnetik yang dipantulkan. Ketika energi dari matahari atau sumber lain mengenai suatu benda, sebagian dari energi tersebut dipantulkan. Bahan yang berbeda mencerminkan jumlah energi yang masuk yang berbeda, dan pemantulan diferensial ini memberikan objek penampilan yang berbeda. Kami menggunakan perbedaan ini untuk membedakan antara objek.

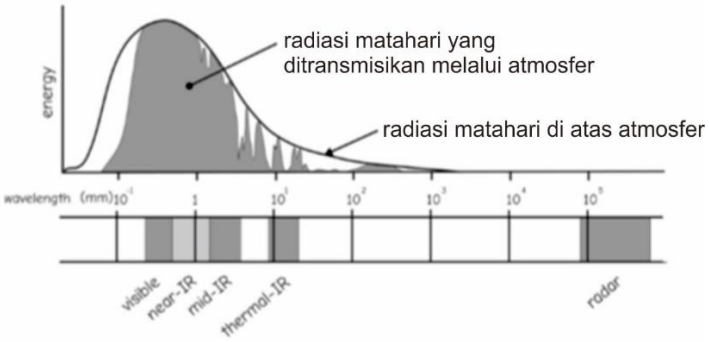
Cahaya adalah bentuk energi utama yang terdeteksi dalam penginderaan jauh untuk GIS. Energi cahaya dicirikan oleh panjang gelombangnya, jarak antara puncak dalam aliran elektromagnetik. Setiap “warna” cahaya memiliki panjang gelombang yang berbeda, misalnya, cahaya dengan panjang gelombang antara 0,4 dan 0,5 mikrometer (µm) dianggap biru. Cahaya yang dipancarkan matahari terdiri dari beberapa panjang gelombang yang berbeda, dan rentang panjang gelombang penuh tersebut disebut spektrum elektromagnetik. Grafik spektrum ini dapat digunakan untuk mewakili jumlah energi cahaya yang datang pada rentang panjang gelombang. Jumlah energi di setiap panjang gelombang biasanya diplotkan terhadap setiap nilai panjang gelombang, menghasilkan kurva yang menggambarkan energi elektromagnetik total yang mencapai objek apa pun. Perhatikan pada Gambar bahwa jumlah energi yang dipancarkan oleh matahari meningkat dengan cepat hingga maksimum antara 0,4 dan 0,7 µm, dan turun pada panjang gelombang yang lebih tinggi. Beberapa daerah spektrum elektromagnetik diberi nama: Sinar-X memiliki panjang gelombang sekitar 0,0001 m, cahaya tampak antara 0,4 dan 0,7 µm, dan cahaya inframerah-dekat antara 0,7 dan 1,1µm.

Mata kita merasakan cahaya di bagian spektrum yang terlihat, antara 0,4 dan 0,7 µm. Kami biasanya mengidentifikasi tiga warna dasar: biru, dari sekitar 0,4 hingga 0,5 µm, hijau dari 0,5 hingga 0,6 µm, dan merah dari 0,6 hingga 0,7 µm. Warna lain sering digambarkan sebagai campuran dari ketiga warna ini pada tingkat kecerahan yang berbeda-beda. Misalnya, campuran yang sama dari cahaya biru, hijau, dan merah pada intensitas tinggi dianggap sebagai cahaya "putih". Campuran yang sama tetapi pada intensitas yang lebih rendah menghasilkan berbagai corak abu-abu. Warna lain diproduksi dengan campuran lain; misalnya, bagian yang sama dari lampu merah dan hijau dianggap sebagai kuning. Kombinasi spesifik dari panjang gelombang dan intensitas relatifnya menghasilkan semua warna yang terlihat oleh mata manusia.

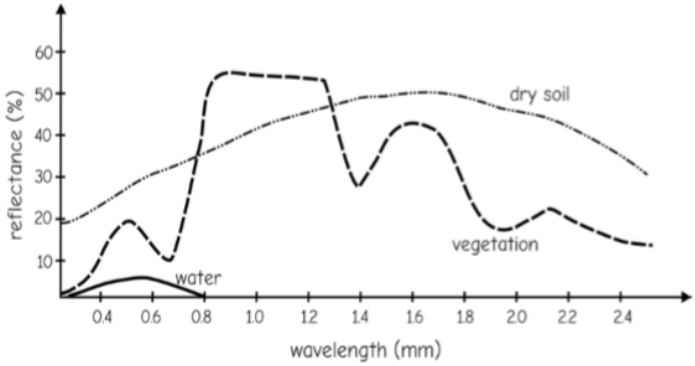
Energi elektromagnetik yang mengenai suatu benda dipantulkan, diserap, atau ditransmisikan. Sebagian besar benda padat menyerap atau memantulkan energi elektromagnetik yang datang dan tidak memancarkan apa pun. Air cair dan gas atmosfer adalah bahan alami paling umum yang memancarkan energi cahaya serta menyerap dan memantulkannya.

Transmisi energi melalui atmosfer paling erat kaitannya dengan jumlah uap air di udara. Uap air menyerap energi di beberapa bagian spektrum, dan kandungan air atmosfer yang lebih tinggi menghasilkan transmitansi yang lebih rendah. Karbon dioksida, gas lain, dan partikulat seperti debu juga berkontribusi pada absorpsi atmosfer, mengurangi radiasi di sebagian spektrum elektromagnetik.

Benda-benda alam tampak seperti warna yang paling mereka pantulkan; misalnya, daun hijau menyerap lebih banyak cahaya merah dan biru dan memantulkan lebih banyak cahaya hijau. Mata kita merasakan perbedaan sifat pemantulan ini pada rentang panjang gelombang untuk membedakan antar objek. Sementara kita melihat perbedaan dalam panjang gelombang yang terlihat, perbedaan ini juga meluas ke bagian lain dari spektrum elektromagnetik yang tidak dapat kita lihat . Misalnya, daun individu dari banyak spesies tanaman tampak memiliki warna hijau yang sama; namun beberapa memantulkan lebih banyak energi di bagian spektrum inframerah, dan dengan demikian tampaknya memiliki "warna" yang berbeda bila dilihat pada panjang gelombang inframerah.



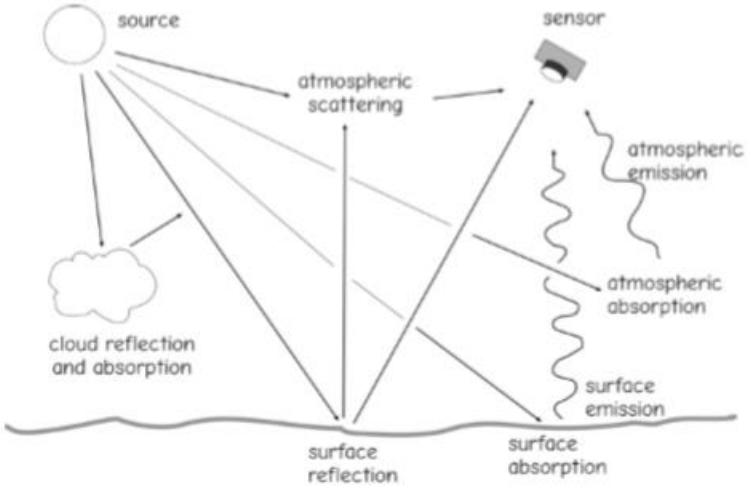
Gambar 6.2a: Energi elektromagnetik dipancarkan oleh matahari dan disalurkan melalui atmosfer (grafik atas). Radiasi matahari sebagian diserap saat melewati atmosfer. Hal ini menghasilkan radiasi permukaan variabel pada daerah panjang gelombang tampak dan inframerah (IR) (grafik bawah).



Gambar 6.2b: Kurva reflektansi spektral untuk beberapa zat umum. Proporsi radiasi yang masuk yang dipantulkan bervariasi di sepanjang gelombang (diadaptasi dari Lillesand dan Kiefer, 1999).

Kebanyakan sistem penginderaan jauh bersifat pasif, karena menggunakan energi yang dihasilkan oleh matahari dan dipantulkan dari objek target. *Gambar* udara dan sebagian besar data satelit dikumpulkan menggunakan sistem pasif. Gambar dari sistem pasif ini dapat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer dalam berbagai cara. Gambar diatas banyak jalur di mana energi mencapai perangkat penginderaan jauh. Perhatikan bahwa hanya satu jalur energi yang berguna, karena hanya energi pantul permukaan yang memberikan informasi tentang fitur yang diinginkan. Jalur lain menghasilkan tidak ada atau hanya radiasi menyebar yang mencapai sensor, dan memberikan sedikit informasi tentang objek target. Kebanyakan sistem pasif tidak berguna selama periode berawan atau sangat kabur karena hampir semua energi

tersebar dan tidak ada energi yang dipantulkan secara langsung dapat mencapai sensor. Sebagian besar sistem pasif mengandalkan energi matahari, sehingga penggunaannya terbatas pada malam hari.



Gambar 6.3 : Jalur energi dari sumber ke sensor. Cahaya dan energi elektromagnetik lainnya dapat diserap, dipancarkan, atau dipantulkan oleh atmosfer. Cahaya yang dipantulkan dari permukaan dan ditransmisikan ke sensor digunakan untuk membuat gambar. Gambar mungkin terdegradasi oleh hamburan atmosfer akibat uap air, debu, asap, dan unsur lainnya. Energi yang masuk atau yang dipantulkan mungkin tersebar.

Sistem aktif adalah alternatif untuk mengumpulkan data penginderaan jauh dalam kondisi mendung atau malam hari. Sistem aktif menghasilkan sinyal energi dan mendeteksi energi yang dikembalikan. Perbedaan kuantitas dan arah energi yang dikembalikan digunakan untuk mengidentifikasi jenis dan sifat fitur dalam gambar. Radar (deteksi dan jangkauan radio) adalah sistem penginderaan jauh aktif yang paling umum, sementara penggunaan sistem LiDAR (deteksi dan jangkauan cahaya) semakin meningkat. Radar memfokuskan berkas energi melalui antena, dan kemudian merekam energi yang dipantulkan. Sinyal-sinyal ini disapu melintasi lanskap, dan hasilnya dikumpulkan untuk menghasilkan gambar radar. Karena sistem radar yang diberikan biasanya terbatas pada satu panjang gelombang, gambar radar biasanya monokromatik (dalam nuansa abu-abu). Gambar-gambar ini dapat dikumpulkan siang atau malam, dan sebagian besar sistem radar menembus awan karena uap air tidak menyerap panjang gelombang radar yang relatif panjang

6.3 Gambar Udara

Gambar yang diambil dari kamera udara adalah dan secara historis menjadi sumber utama data geografis. Fotografi udara dengan cepat mengikuti penemuan kamera portabel pada pertengahan abad ke-19, dan menjadi kenyataan praktis dengan perkembangan pesawat terbang yang dapat diandalkan pada awal abad ke-20. Fotogrametri, ilmu mengukur geometri dari gambar, dikembangkan dengan baik pada awal 1930-an, dan sejak itu terus disempurnakan. Gambar udara mendukung sebagian besar peta dan survei area luas di sebagian besar negara. Kamera pemetaan digital telah menjadi umum di abad ke-21, sebagian besar menggantikan kamera udara. *Gambar* udara secara rutin digunakan dalam perencanaan

dan pengelolaan kota, konstruksi, teknik, pertanian, kehutanan, pengelolaan satwa liar, dan aplikasi pemetaan lainnya.

Meskipun ada ratusan aplikasi untuk *gambar* udara, sebagian besar aplikasi yang mendukung GIS dapat ditempatkan ke dalam tiga kategori utama. Pertama, foto udara sering digunakan sebagai dasar pemetaan, untuk mengukur dan mengidentifikasi lokasi objek secara horizontal dan vertikal. Pengukuran pada gambar menawarkan cara yang cepat dan akurat untuk mendapatkan koordinat geografis, terutama ketika pengukuran gambar digabungkan dengan survei lapangan. Dalam aplikasi utama kedua, interpretasi gambar dapat digunakan untuk mengkategorikan atau menetapkan atribut ke fitur permukaan.

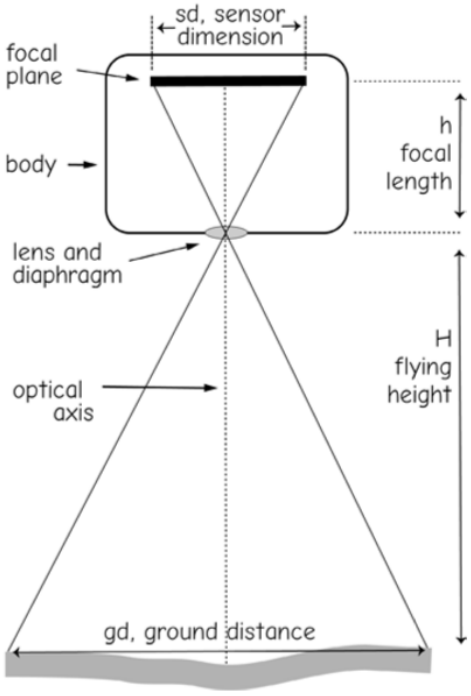
Gambar 6.4 : Survei udara dimulai tak lama setelah pengembangan pesawat terbang yang andal dan kamera portabel berbasis film (atas izin Arsip Foto Pemerintah Kanada).

6.2.1 Kamera Pesawat, Format dan Sistem

Sistem kamera udara paling sering dirancang khusus untuk pemetaan, sehingga kamera dan komponen dibuat untuk meminimalkan distorsi geometrik dan memaksimalkan kualitas gambar. Kamera pemetaan memiliki fitur untuk mengurangi kekaburan gambar akibat gerakan pesawat, meningkatkan kualitas gambar. Mereka mempertahankan atau merekam sudut orientasi, sehingga distorsi dapat diminimalkan. Sistem kamera ini dibuat dengan tepat, canggih, sangat terspesialisasi, dan mahal, dan gambar yang cocok untuk pemetaan yang akurat jarang dikumpulkan dengan kamera non-pemetaan.

Kamera pemetaan biasanya dibawa dalam pesawat khusus yang dirancang untuk proyek pemetaan fotografis. Pesawat ini biasanya memiliki ruang instrumen atau lubang yang dipotong di lantai, di mana kamera dipasang. Dudukan kamera dan sistem kontrol pesawat dirancang untuk menjaga sumbu optik kamera sedekat mungkin vertikal. Sistem navigasi dan kontrol pesawat khusus untuk mendukung foto udara, dengan penentuan posisi dan kontrol penerbangan yang tepat.

Gambar 6.5: Foto udara sering kali diambil dari pesawat khusus, seperti pesawat dengan ketinggian rendah ini, atau dari helikopter atau pesawat yang lebih besar dan terbang lebih tinggi (milik Seabird Ltd.).



Gambar 6.6: Kamera sederhana.

Kamera udara untuk pengumpulan data spasial adalah perangkat yang besar, mahal, dan canggih, tetapi pada prinsipnya mirip dengan kamera sederhana. Kamera sederhana terdiri dari lensa dan bodi.Lensa biasanya terbuat dari beberapa elemen kaca individu, dengan diafragma atau mekanisme lain untuk mengontrol jumlah cahaya yang mencapai media penginderaan, sensor digital atau film yang merekam cahaya. Sensor ini memiliki dimensi karakteristik, sd, dan untuk sensor digital, ukuran piksel, yang jika digabungkan dengan ketinggian terbang (H), dan panjang fokus (h), menentukan resolusi tanah dan area yang dicitrakan. Kontrol eksposur, seperti rana di dalam lensa, mengontrol durasi film terkena cahaya. Kamera juga memiliki sumbu optik, yang ditentukan oleh lensa dan dudukan lensa. Sumbu optik adalah arah tengah dari gambar yang masuk, dan berorientasi tepat untuk memotong sensor dalam arah tegak lurus. Sensor digital terhubung ke penyimpanan elektronik, sehingga gambar berurutan dapat disimpan, sementara film biasanya digulung pada gulungan suplai (film yang tidak terpapar) dan gulungan pengambil (film yang terpapar). Gambar direkam pada bidang datar yang disebut bidang fokus kamera, tegak lurus terhadap sumbu optik. Waktu, ketinggian, dan kondisi atau informasi lain mengenai foto atau proyek pemetaan dapat direkam oleh kamera, sering kali sebagai header elektronik pada file gambar digital, atau pada strip data untuk kamera film, sebaris teks di margin foto.

Skala dan luas *gambar* merupakan atribut penting dari data penginderaan jauh. Skala gambar, seperti dalam skala peta, didefinisikan sebagai jarak relatif pada gambar dengan jarak yang sesuai di lapangan. Misalnya, 1 inci pada inti foto skala 1:15,840

berputar hingga 15.840 inci di permukaan bumi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, skala gambar akan menjadi h/H, rasio panjang fokus terhadap ketinggian terbang. Jangkauan

gambar adalah area yang dicakup oleh gambar, dan bergantung pada ukuran fisik area atau elemen penginderaan (sd dalam Gambar), panjang fokus kamera (h), dan ketinggian terbang (H), menurut:

$$gd = sd * H / h \quad (6.1)$$

Luasnya tergantung pada ukuran fisik dari media perekam, sd, (mis., Sensor digital 5 x 5 cm), dan sistem lensa dan ketinggian terbang. Misalnya, elemen penginderaan 5 cm dengan lensa panjang fokus 4 cm yang diterbangkan pada ketinggian 3000 m (sekitar 10.000 kaki) menghasilkan luasan sekitar 3,75 kali 3,75 km^2, atau 5,1 mi^2 di permukaan bumi.

Resolusi gambar adalah konsep penting lainnya. Resolusi adalah objek terkecil yang dapat dideteksi secara andal pada gambar. Resolusi dalam kamera digital sering kali ditentukan oleh ukuran piksel, ukuran elemen penginderaan individu dalam sebuah larik. Misalnya, larik 5 x 5 cm dengan 7000 sel di setiap arah akan memiliki ukuran sel 0,05/7000, yaitu 7,1 x 10-6 m, atau 7,13 m.

Realisasi atau resolusi ground pada *gambar* udara dapat dihitung dari rumus di bawah ini, menggantikan dimensi sel untuk dimensi sensor, sd. Dalam contoh kita, jika kamera memiliki panjang fokus 10 cm (0,1m), dan diterbangkan pada 3000 m, resolusi tanah adalah:

$$0{,}21 \text{ m} = 7{,}1 \times 10\text{-}6 * 3000 / 0{,}1$$

Resolusi dalam foto udara lebih rumit, dan bergantung pada ukuran butiran film dan properti eksposur, dan sering diuji melalui foto pola garis hitam dan putih yang bergantian. Pada beberapa ambang lebar garis, perbedaan antara garis hitam dan putih tidak dapat dibedakan, memberikan resolusi yang efektif.

6.2.3 Kamera Digital Udara

Kamera udara digital adalah sistem yang paling umum digunakan untuk pemetaan udara, dan secara rutin memberikan gambar berkualitas tinggi. Kamera film adalah yang paling umum untuk tahun 1920-an hingga pertengahan 1990-an, tetapi kita mendekati akhir transisi dari film ke kamera digital. Kamera udara digital memberikan banyak keunggulan dibandingkan kamera film, termasuk fleksibilitas yang lebih besar, perencanaan dan pelaksanaan yang lebih mudah, stabilitas yang lebih baik, dan output langsung ke digital. Sementara banyak kamera film masih digunakan sampai sekarang, produksi kamera secara efektif telah berhenti, dan film akan segera menyusul.

Kamera digital biasanya terdiri dari rumah elektronik yang berada di atas rakitan lensa. Lensa memfokuskan cahaya ke perangkat yang digabungkan dengan biaya (CCD) atau elemen pemindaian elektronik serupa. CCD adalah array persegi panjang piksel, atau elemen gambar, yang merespons cahaya.

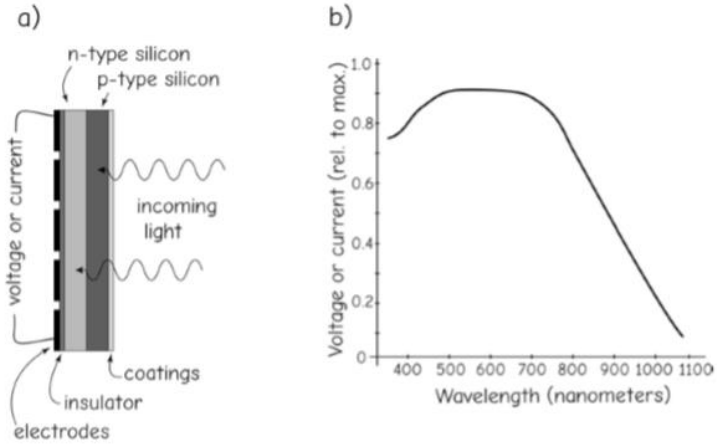
CCD terdiri dari layer bahan semikonduktor dengan pelapis reflektif dan absorptif yang sesuai, isolator, dan elektroda konduktor. Radiasi yang masuk melewati layer dan ke dalam semikonduktor, melepaskan elektron dan menciptakan tegangan atau arus. Respons dapat dikalibrasi dan diubah menjadi ukuran intensitas cahaya. Respon bervariasi di sepanjang gelombang, tetapi dapat disetel ke daerah panjang gelombang dengan memanipulasi

komposisi semikonduktor. Karena piksel berada dalam array, array kemudian mendefinisikan gambar.

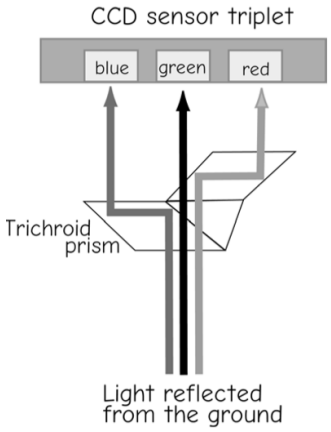
Gambar 6..7: Gambar digital dapat memberikan kualitas gambar yang sama atau lebih baik dari gambar film. Gambar ini menunjukkan gambar yang dikumpulkan pada resolusi 15 cm. Detail ekstrem terlihat, termasuk ventilasi atap, lokasi tepi jalan, dan tiang jalan (milik USGS).

Gambar 6.8: Kamera udara digital secara dangkal mirip dengan kamera udara film, tetapi biasanya mengandung banyak komponen elektronik yang lebih canggih (milik Leica Geosystems).

Kamera digital terkadang menggunakan cluster multilens daripada lensa tunggal, atau mereka dapat membagi berkas cahaya yang masuk melalui prisma, kisi difraksi, atau mekanisme lainnya. Karena CCD biasanya dikonfigurasi agar peka hanya pada pita cahaya yang sempit, beberapa CCD dapat digunakan, masing-masing dengan lensa khusus dan pita gelombang tertentu. Beberapa CCD biasanya memungkinkan lebih banyak cahaya untuk setiap piksel dan gelombang gelombang, tetapi ini meningkatkan kompleksitas sistem kamera. Jika sistem multi-lensa digunakan, pita individu dari beberapa lensa dan CCD harus diregister dengan hati-hati, atau disejajarkan, untuk membentuk gambar multipita yang lengkap.



Gambar 6.8: Respon CCD untuk reseptor berbasis silikon tipikal. CCD adalah sandwich layer semikonduktor (a, di sebelah kiri) yang menghasilkan arus atau tegangan sebanding dengan cahaya yang diterima. Respon bervariasi pada daerah panjang gelombang (b, di kanan).



Gambar 6.9 : Kamera digital sering menggunakan prisma atau mekanisme lain untuk memisahkan dan mengarahkan cahaya ke sensor CCD yang sesuai (diadaptasi dari Leica Geosystems).

Kamera digital paling sering mengumpulkan gambar dalam bagian spektrum elektromagnetik biru (0,4-0,5 µm), hijau (0,5– 0,6 µm), atau merah (0,6-0,7 µm). Ini memberikan gambar yang kira-kira sama dengan apa yang dilihat mata manusia. Sistem juga dapat merekam reflektansi inframerah-dekat (0,7–1,1µm), khususnya untuk pemetaan vegetasi. Kamera mungkin juga memiliki seperangkat filter yang dapat ditempatkan di depan lensa, misalnya, untuk perlindungan atau untuk mengurangi kabut.

Kamera digital biasanya memiliki sistem kontrol komputer, yang digunakan untuk menentukan lokasi, waktu, dan eksposur; merekam GPS dan informasi orientasi dan ketinggian pesawat; menyediakan transfer dan penyimpanan data; dan memungkinkan operator untuk memantau kemajuan dan kualitas gambar selama pengumpulan data.

Gambar 6.10 : Contoh sistem canggih (kiri atas) untuk mengontrol pengumpulan gambar digital, di sini dengan kamera udara digital Leica Geosystems ADS40 (kanan bawah). Sistem ini merekam dan menampilkan jalur penerbangan dan stasiun kamera secara real time, dan dapat digunakan untuk merencanakan, melaksanakan, dan memantau pengumpulan data gambar (atas izin Leica Geosystems).

Kamera digital mungkin memiliki beberapa fitur untuk meningkatkan kualitas data. Misalnya, kamera digital dapat menggunakan kompensasi gerak gambar elektronik, menggabungkan informasi yang dikumpulkan di beberapa baris piksel CCD. Ini dapat menghasilkan gambar yang lebih tajam, sekaligus mengurangi kemungkinan kerusakan kamera karena lebih sedikit bagian yang bergerak. Selain itu, data digital dapat direkam dalam strip yang panjang dan berkesinambungan, sehingga memudahkan produksi gambar mosaik.

6.2.3 Kamera Film dan Film

Sementara sebagian besar gambar udara masa depan akan dikumpulkan dengan kamera digital, ada arsip luas dari gambar udara masa lalu yang dikumpulkan dengan kamera film udara. Gambar-gambar ini datang dalam berbagai format, atau ukuran, biasanya ditentukan oleh dimensi tepi dari area yang dicitrakan. Kamera film biasanya menentukan dimensinya dalam unit fisik, misalnya, format 240 mm (9-in) menentukan foto persegi 240 mm di salah satu sisinya. Kamera yang mampu menggunakan film 240 mm dianggap format besar,

sedangkan ukuran yang lebih kecil, misalnya 70 mm, pernah umum digunakan. Kamera format besar paling sering digunakan untuk mengambil foto untuk pengembangan data spasial.

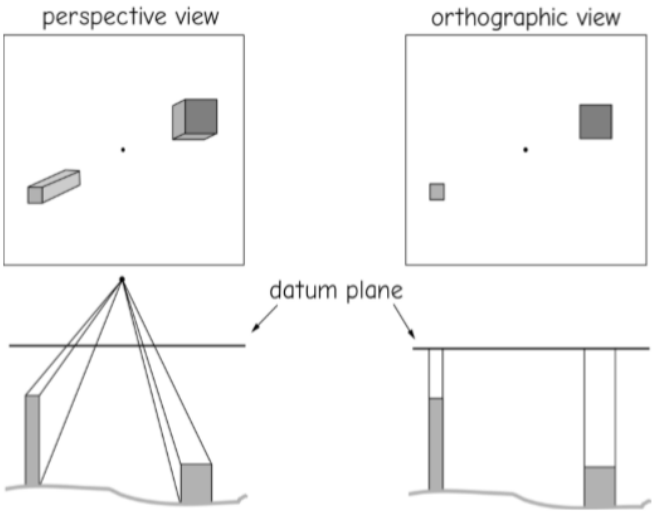
Film terdiri dari sandwich layer peka cahaya yang tersebar pada lembaran plastik tipis. Film mungkin hitam dan putih, dengan satu layer bahan peka cahaya, atau warna, dengan beberapa layer bahan peka cahaya. Setiap layer film sensitif terhadap serangkaian panjang gelombang yang berbeda. Layer ini, disebut sebagai emulsi, mengalami reaksi kimia saat terkena cahaya. Lebih banyak energi cahaya yang jatuh pada film menghasilkan reaksi kimia yang lebih lengkap, dan karenanya paparan film yang lebih besar

Film dapat dikategorikan berdasarkan panjang gelombang cahaya yang ditanggapinya. Film hitam dan putih sensitif terhadap cahaya di bagian spektrum yang terlihat, dari 0,4 hingga 0,7 µm, dan sering disebut sebagai film pankromatik. Film pankromatik banyak digunakan untuk foto udara karena harganya murah dan dapat memperoleh gambar yang berguna pada berbagai kondisi cahaya. Film warna sebenarnya juga sensitif terhadap cahaya di seluruh spektrum yang terlihat, tetapi dalam tiga warna terpisah.

Film inframerah telah dikembangkan dan digunakan secara luas ketika perbedaan tipe vegetasi menjadi perhatian. Film-film ini sensitif melalui spektrum yang terlihat dan panjang gelombang inframerah yang lebih panjang, hingga sekitar 0,95 µm

6.2.4 Kualitas Geometris pada Gambar Udara

Gambar udara merupakan sumber informasi spasial yang kaya untuk digunakan dalam GIS, tetapi sebagian besar gambar udara mengandung distorsi geometrik. Peta yang paling tepat secara geometris adalah ortografis. Peta ortografi memplot posisi objek setelah diproyeksikan ke bidang umum, sering disebut bidang datum. Objek di atas atau di bawah bidang diproyeksikan secara vertikal ke bawah atau ke atas ke bidang horizontal. Dengan demikian, bagian atas dan bawah bangunan harus diproyeksikan ke lokasi yang sama di bidang datum. Bagian atas semua bangunan terlihat, dan semua sisi bangunan tidak. Kecuali untuk overhang, jembatan, atau struktur serupa, permukaan tanah terlihat di mana-mana.



Gambar 6.11: Tampilan ortografik (kiri) dan perspektif (kanan). Pandangan ortografis diproyeksikan pada sudut kanan ke bidang datum, seolah-olah melihat dari ketinggian tak

terbatas. Pandangan perspektif memproyeksikan dari permukaan ke bidang datum dari lokasi tampilan tetap.

Sayangnya, sebagian besar gambar udara memberikan tampilan perspektif nonortografis (Gambar kiri). Tampilan perspektif memberikan gambar permukaan bumi yang terdistorsi secara geometris. Distorsi mempengaruhi posisi relatif objek, dan data yang tidak dikoreksi yang berasal dari gambar udara mungkin tidak secara langsung melapisi data dalam peta ortografis yang akurat. Jumlah distorsi pada gambar udara dapat dikurangi dengan memilih kamera, lensa, ketinggian terbang, dan jenis yang sesuai. pesawat terbang. Distorsi juga dapat dikontrol dengan mengumpulkan gambar dalam kondisi cuaca yang tepat selama periode angin rendah dan dengan mempekerjakan pilot dan operator yang terampil. Namun, beberapa aspek distorsi mungkin tidak terkontrol, dan tidak ada sistem kamera yang sempurna, sehingga ada beberapa distorsi geometrik di setiap gambar udara yang tidak dikoreksi. Pertanyaan sebenarnya menjadi, "apakah distorsi dan kesalahan geometris di bawah batas yang dapat diterima, mengingat tujuan penggunaan data spasial?" Pertanyaan ini tidak unik untuk gambar udara; ini berlaku sama baiknya untuk *gambar* satelit, data spasial yang berasal dari GPS dan survei tanah tradisional, atau data lainnya.

Distorsi dalam gambar udara terutama berasal dari enam sumber: medan, kemiringan kamera, deformasi film, lensa kamera, cacat sensor atau kesalahan kamera lainnya, dan pembengkokan atmosfer. Dua sumber kesalahan pertama, variasi medan dan kemiringan kamera, biasanya merupakan sumber distorsi geometrik terbesar saat menggunakan kamera pemetaan udara. Empat yang terakhir relatif kecil ketika kamera pemetaan digunakan, tetapi mereka mungkin masih tidak dapat diterima, terutama ketika data berkualitas tinggi diperlukan. Metode mapan dapat digunakan untuk mengurangi kesalahan kemiringan dan medan yang biasanya dominan dan kesalahan geometrik yang biasanya kecil karena lensa, kamera, dan distorsi atmosfer.

Distorsi kamera dan lensa mungkin cukup besar saat non-pemetaan, kamera format kecil digunakan, seperti kamera format 35 mm atau 70 mm. Kamera format kecil dapat digunakan untuk input data GIS, tetapi kesalahan spasial biasanya cukup besar, dan kehati-hatian harus diberikan untuk memastikan bahwa distorsi geometrik dikurangi ke tingkat yang dapat diterima saat menggunakan kamera format kecil.

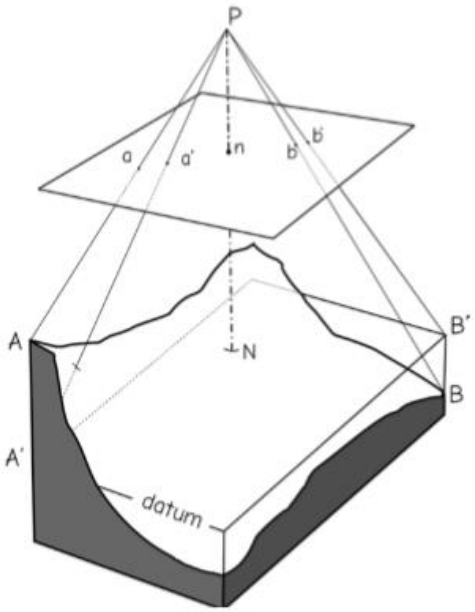
6.2.5 Distorsi Medan dan Kemiringan pada Gambar Udara

Variasi medan, yang didefinisikan sebagai perbedaan elevasi di dalam area gambar, seringkali merupakan sumber terbesar distorsi geometrik pada gambar udara. Variasi medan menyebabkan perpindahan relief, yang didefinisikan sebagai perpindahan radial objek yang berada pada ketinggian yang berbeda.

Gambar 6.12 mengilustrasikan prinsip dasar perpindahan relief. Gambar menunjukkan geometri fotografis di atas area dengan perbedaan medan yang substansial. Permukaan referensi (bidang datum) dalam contoh ini dipilih berada pada ketinggian titik nadir langsung di bawah kamera, N di tanah, dicitrakan di n pada foto. Stasiun kamera P adalah lokasi kamera pada saat pengambilan foto. Kami mengasumsikan sebuah foto vertikal, yang berarti sumbu optik lensa menunjuk secara vertikal di bawah kamera dan memotong permukaan referensi pada sudut kanan di lokasi nadir.

Lokasi untuk titik A dan B ditunjukkan di permukaan tanah. Lokasi yang sesuai untuk titik-titik ini terjadi di A' dan B' pada permukaan datum referensi. Lokasi ini diproyeksikan ke sensor pencitraan atau film, seperti yang akan muncul dalam foto yang diambil pada medan yang bervariasi ini. Dalam kamera nyata, sensor berada di belakang lensa; namun, lebih mudah untuk memvisualisasikan perpindahan dengan menunjukkan sensor di depan lensa, dan geometrinya sama.

Perhatikan bahwa titik a dan b dipindahkan dari lokasi permukaan rujukannya, a 'dan b'. Titik a dipindahkan secara radial ke luar relatif terhadap a', karena elevasi di A lebih tinggi dari permukaan acuan. Perpindahan b relatif ke dalam terhadap b ', karena B lebih rendah dari datum referensi. Perhatikan bahwa setiap titik yang memiliki elevasi sama persis dengan elevasi datum referensi tidak akan bergeser, karena permukaan referensi dan permukaan tanah bertepatan pada titik-titik tersebut.



Gambar 6.12 : Distorsi geometris pada foto udara karena perpindahan relief. P adalah stasiun kamera, N adalah titik nadir. Lokasi fitur bergeser, tergantung pada perbedaan ketinggian dari datum, dan jaraknya dari titik nadir. Kecuali dikoreksi, ini akan menghasilkan gambar non-ortometrik, dan kesalahan lokasi, jarak, bentuk, dan area untuk setiap data spasial yang berasal dari gambar-gambar ini (diadaptasi dari Lillesand, Kiefer, dan Chipman, 2007).

Gambar diatas mengilustrasikan karakteristik utama distorsi medan berikut pada *gambar* udara vertikal:

Distorsi medan bersifat radial – elevasi yang lebih tinggi dipindahkan ke luar, dan elevasi yang lebih rendah dipindahkan ke dalam relatif terhadap titik pusat.

Distorsi relief mempengaruhi sudut dan jarak pada gambar - distorsi relief mengubah jarak antar titik, dan akan mengubah sebagian besar sudut. Garis lurus di tanah tidak akan tampak lurus pada gambar, dan area akan melebar atau mengecil.

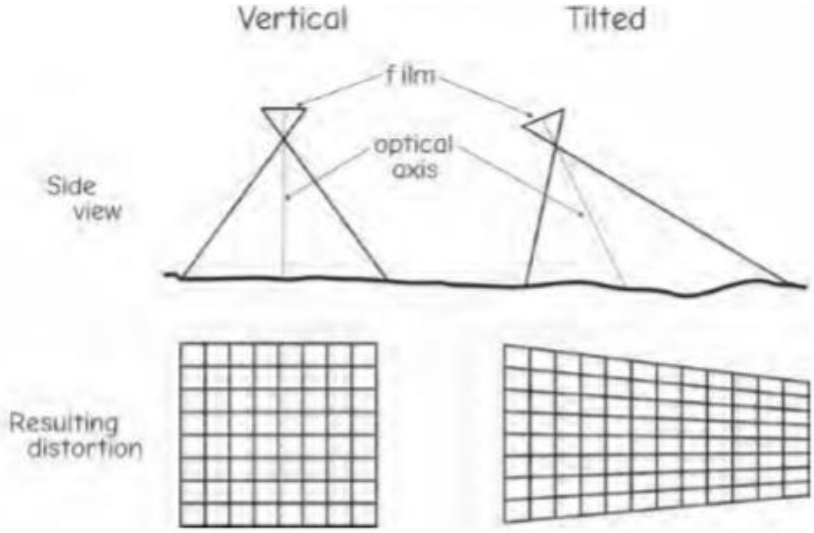
Skala tidak konstan pada gambar udara – skala berubah di seluruh foto dan tergantung pada besarnya perpindahan relief. Kami mungkin menggambarkan skala rata-rata untuk foto udara

vertikal di atas medan yang bervariasi, tetapi skala sebenarnya antara dua titik mana pun akan sering berbeda.

Gambar udara vertikal yang diambil di berbagai medan bukanlah ortografis – kami tidak dapat mengharapkan data geografis dari gambar terdistorsi medan untuk mencocokkan data ortografis dalam GIS. Jika distorsi relatif kecil terhadap kesalahan digitalisasi atau sumber kesalahan geometris lainnya, maka data mungkin tampak cocok dengan data dari sumber ortografik. Jika perpindahan relief besar, itu akan menambah kesalahan yang signifikan.

Kemiringan kamera mungkin menjadi sumber besar kesalahan posisi lainnya dalam gambar udara. Kemiringan kamera, di mana sumbu optik menunjuk pada sudut nonvertikal, menghasilkan konvergensi perspektif yang kompleks dalam gambar udara. Objek yang lebih jauh tampak lebih dekat daripada objek dengan jarak ekivalen yang lebih dekat dengan pengamat. Distorsi kemiringan adalah nol dalam foto vertikal, dan bertambah seiring dengan bertambahnya kemiringan.

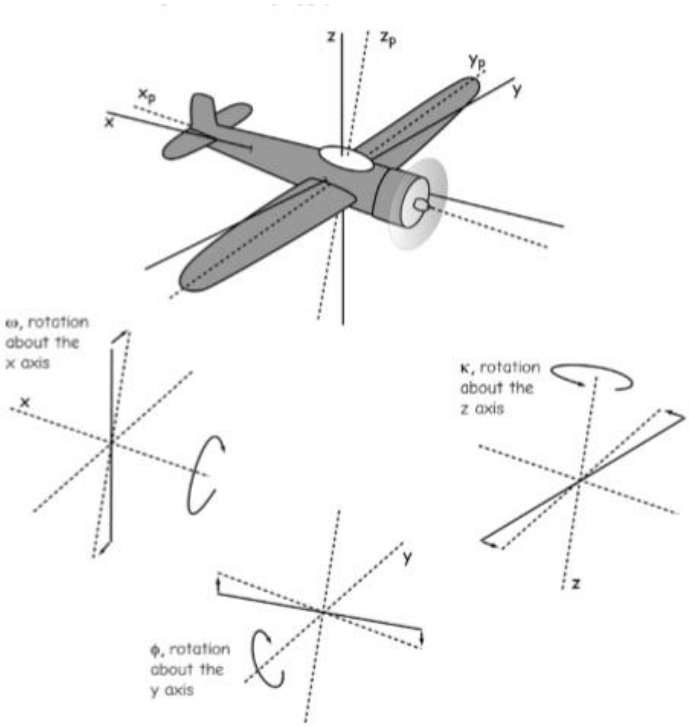
Gambar 6.13 : Contoh konvergensi kemiringan. Pita potong dengan lebar yang sama tampak lebih sempit ke arah cakrawala pada gambar yang sangat miring ini (milik USDA).



Gambar 6.14: Distorsi gambar yang disebabkan oleh kemiringan sumbu optik kamera yang relatif terhadap permukaan tanah. Distorsi perspektif, yang ditampilkan di kanan bawah, dihasilkan dari perubahan jarak pandang di seluruh foto.

Kontrak untuk misi pemetaan udara biasanya menentukan sudut kemiringan kurang dari 3 derajat dari vertikal. Distorsi perspektif yang disebabkan oleh kemiringan agak sulit dihilangkan, dan penghapusan cenderung mengurangi resolusi di dekat tepi gambar. Oleh karena itu, upaya dilakukan untuk meminimalkan distorsi kemiringan dengan mempertahankan sumbu optik vertikal saat gambar dikumpulkan. Sistem pemasangan kamera dirancang sehingga sumbu optik dari lensa menunjuk langsung di bawah, dan pilot berusaha untuk menjaga pesawat pada jalur penerbangan yang mulus dan rata sebanyak mungkin. Pesawat memiliki mekanisme stabilisasi, dan kamera dapat dilengkapi dengan mekanisme kompensasi untuk mempertahankan sumbu miring. Meskipun tindakan pencegahan ini, kemiringan terjadi, karena penerbangan selama kondisi berangin, kesalahan pilot atau instrumen, atau desain sistem.

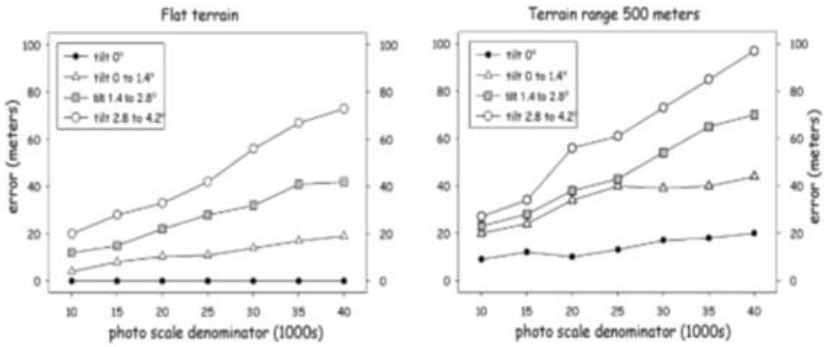
Kemiringan sering ditandai dengan tiga sudut rotasi, sering disebut sebagai omega (ω), phi (φ), dan kappa (κ). Ini adalah sudut rotasi pada sumbu X, Y, dan Z yang menentukan ruang tigadimensi. Rotasi pada sumbu Z saja tidak mengakibatkan distorsi kemiringan, karena terjadi disekitar sumbu tegak lurus dengan permukaan. Jika dan adalah nol, maka tidak ada distorsi kemiringan. Namun, kemiringan hampir selalu ada, bahkan dalam nilai kecil, sehingga ketiga sudut rotasi diperlukan untuk menggambarkan dan memperbaikinya.



Gambar 6.15: Sudut kemiringan gambar sering ditentukan oleh rotasi terhadap sumbu X (sudut ω), sumbu Y (sudut φ), dan sumbu Z (sudut κ).

Distorsi kemiringan dan medan dapat terjadi pada gambar udara yang diambil di berbagai medan. Distorsi kemiringan dapat terjadi bahkan pada gambar udara vertikal, karena kemiringan hingga 3 derajat biasanya diperbolehkan. Tingkat distorsi keseluruhan tergantung

pada jumlah kemiringan dan variasi medan, dan juga pada skala fotografi. Tidak mengherankan, kesalahan meningkat seiring dengan peningkatan kemiringan atau medan, dan saat skala fotografi menjadi lebih kecil.



Gambar 6.16: Efek medan dan kemiringan pada kesalahan posisi rata-rata saat mendigitalkan dari gambar udara yang tidak dikoreksi. Distorsi meningkat ketika kemiringan dan medan meningkat, dan ketika skala foto menurun (dari Bolstad, 1992).

Gambar tersebut diatas mengilustrasikan perubahan distorsi total dengan perubahan kemiringan, medan, dan skala gambar. Gambar ini menunjukkan kesalahan yang diharapkan dalam data digitalisasi dari gambar udara vertikal ketika hanya menerapkan transformasi affine, prosedur standar yang digunakan untuk mendaftarkan peta ortografi. Proses yang digunakan untuk menghasilkan plot kesalahan ini meniru proses digitalisasi langsung dari *gambar* udara yang tidak dikoreksi. Perhatikan pertama-tama bahwa tidak ada kesalahan di semua skala ketika tanah datar (kisaran medan adalah nol) dan tidak ada kemiringan (garis bawah, panel kiri pada gambar). Kesalahan meningkat saat skala gambar berkurang, ditunjukkan dengan meningkatnya kesalahan saat Anda bergerak dari kiri ke kanan di kedua panel. Kesalahan juga meningkat saat kemiringan atau medan bertambah.

Kesalahan geometris bisa sangat besar, bahkan untuk gambar vertikal pada medan sedang (Gambar sisi kanan). Grafik ini dengan jelas menunjukkan bahwa kesalahan geometris akan terjadi ketika mendigitalkan dari gambar udara vertikal, bahkan jika sistem digitalisasi sempurna dan tidak menimbulkan kesalahan. Jadi besarnya kesalahan kemiringan dan medan harus dinilai relatif terhadap akurasi geometrik yang diperlukan sebelum mendigitalkan dari gambar udara yang tidak dikoreksi.

6.2.6 Kesalahan Sistem: Distorsi Media, Lensa, dan Kamera

Film, kamera, dan sistem lensa mungkin menjadi sumber kesalahan geometrik yang signifikan pada gambar udara. Sistem detektor lensa–kamera– yang sempurna akan secara tepat memproyeksikan geometri tampilan target ke permukaan perekaman gambar, baik film atau CCD. Lokasi relatif fitur pada gambar dalam sistem kamera yang sempurna akan sama persis dengan lokasi relatif pada bidang pandang yang berjarak sewenang-wenang di depan lensa. Sistem kamera sebenarnya tidak sempurna dan dapat merusak gambar. Misalnya, cahaya dari suatu titik mungkin sedikit bengkok saat bergerak melalui lensa, atau film mungkin menyusut atau membengkak, keduanya menyebabkan gambar terdistorsi.

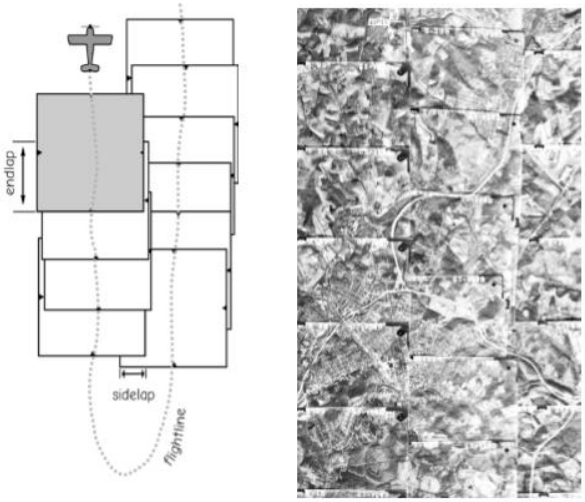
Pergeseran lensa radial merupakan salah satu bentuk distorsi yang umumnya disebabkan oleh sistem kamera. Setiap kali lensa diproduksi, selalu ada beberapa ketidaksempurnaan dalam

bentuk melengkung dari permukaan lensa. Ini menyebabkan perpindahan radial, baik ke dalam atau ke luar, dari lokasi gambar yang sebenarnya. Perpindahan lensa radial biasanya cukup kecil dalam sistem kamera pemetaan, tetapi mungkin cukup besar di sistem lain. Kurva perpindahan radial sering dikembangkan untuk lensa kamera pemetaan, dan kurva ini dapat digunakan untuk mengoreksi kesalahan perpindahan radial ketika diperlukan akurasi pemetaan tertinggi.

Sistem kamera pemetaan direkayasa untuk meminimalkan kesalahan sistematis. Lensa dirancang dan diproduksi secara presisi sehingga distorsi gambar diminimalkan. Dudukan lensa, detektor, dan bodi kamera dioptimalkan untuk memastikan penampilan geometri gambar yang sesuai. Film dirancang sedemikian rupa sehingga ada distorsi terbatas di bawah tekanan pada gulungan kamera. Pengoptimalan ini menghasilkan fidelitas geometris yang sangat tinggi dalam sistem kamera/lensa. Dengan demikian, distorsi kamera dan lensa pada kamera pemetaan biasanya jauh lebih kecil daripada kesalahan lainnya, misalnya, kesalahan kemiringan dan medan, atau kesalahan dalam mengubah data gambar menjadi bentuk yang berguna dalam SIG.

Kesalahan geometrik yang disebabkan oleh kamera mungkin cukup tinggi saat menggunakan kamera non-pemetaan, seperti saat foto diambil dengan sistem kamera format kecil 35 mm atau 70 mm. Distorsi radial lensa mungkin ekstrem, dan sistem ini cenderung memiliki kesalahan geometrik yang besar jika dibandingkan dengan kamera pemetaan. Itu tidak berarti bahwa kamera pemetaan harus selalu digunakan. Dalam beberapa keadaan, distorsi yang melekat dalam sistem kamera format kecil mungkin dapat diterima, atau dapat dikurangi relatif terhadap kesalahan lainnya, misalnya, ketika foto skala sangat besar diambil, dan ketika informasi kualitatif atau atribut diperlukan. Namun, kualitas geometrik dari setiap sistem kamera non-pemetaan harus dievaluasi sebelum digunakan dalam proyek pemetaan.

6.2.7 Liputan Fotografi Stereo



Gambar 6.17: Gambar udara sering tumpang tindih untuk memungkinkan pengukuran tiga dimensi dan koreksi perpindahan relief. Sidelap dan endlap ditunjukkan pada gambar (kiri) dan photomosaic (kanan).

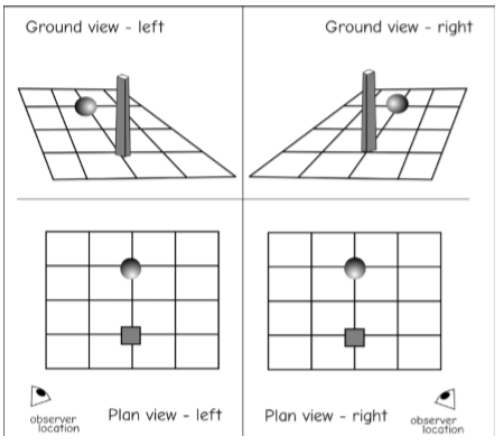
Seperti disebutkan di atas, perpindahan relief pada *gambar* udara vertikal menambahkan perpindahan radial yang bergantung pada ketinggian medan. Semakin besar perbedaan

medan, semakin besar perpindahan relief. Perpindahan relief ini mungkin menjadi masalah jika kita ingin menghasilkan peta dari satu foto. Metode fotogrametri dapat digunakan untuk menghilangkan distorsi. Namun, jika dua foto yang tumpang tindih diambil, disebut stereopair, maka foto-foto ini dapat digunakan bersama untuk menentukan perbedaan elevasi relatif. Perpindahan relief dalam stereopair dapat digunakan untuk menentukan elevasi dan menghilangkan distorsi. Banyak proyek pemetaan mengumpulkan cakupan fotografi stereo di mana foto-foto berurutan dalam garis terbang tumpang tindih, yang disebut endlap, dan garis terbang yang berdekatan tumpang tindih, yang disebut sidelap. Foto stereo biasanya memiliki hampir 65% endlap dan 25% sidelap. Beberapa kamera digital mengumpulkan data dalam strip kontinu sehingga hanya mengumpulkan sidelap.

Model stereo adalah persepsi medan tiga dimensi atau objek lain yang kita lihat saat melihat pasangan stereo. Saat masing-masing melihat foto yang berbeda dan berdekatan dari stereopair yang tumpang tindih, kami mengamati serangkaian perbedaan paralaks, dan otak kami dapat mengubahnya menjadi persepsi kedalaman. Jika kami memiliki gambar udara vertikal, jarak dari kamera ke setiap titik di permukaan tanah ditentukan terutama oleh ketinggian di setiap titik di permukaan tanah. Kita dapat mengamati paralaks untuk setiap titik dan menggunakan paralaks ini untuk menyimpulkan elevasi relatif untuk setiap titik.

Tampilan stereo menciptakan stereomodel tiga dimensi dari ketinggian medan, dengan mata kiri kita melihat foto kiri dan mata kanan kita melihat foto kanan. Stereomodel tiga dimensi dapat diproyeksikan ke permukaan datar dan gambar digunakan untuk mendigitalkan peta. Kami juga dapat menafsirkan ketinggian medan relatif pada permukaan tiga dimensi ini, dan dengan demikian memperkirakan ketinggian di mana pun kami memiliki jangkauan stereo. Kita dapat menggunakan stereopairs untuk menggambar garis kontur atau menandai ketinggian titik. Secara historis, ini merupakan metode paling umum untuk menentukan ketinggian di wilayah yang lebih luas dari beberapa ratus hektar.

Stereomodel terlihat dalam stereopairs karena paralaks, pergeseran perpindahan relief karena pergeseran lokasi pengamat. menggambarkan paralaks. Blok (lebih dekat ke lokasi tampilan) tampak bergeser lebih dari bola ketika lokasi tampilan diubah dari kiri ke kanan objek. Perpindahan titik tertentu berbeda pada pandangan kiri vs. pandangan tanah kanan karena geometri tampilan relatif berbeda. Titik digeser dengan jumlah yang berbeda, dan besarnya pergeseran tergantung pada jarak dari pengamat (atau kamera) ke objek. Pergeseran posisi dengan pergeseran lokasi tampilan ini menurut definisi paralaks, dan merupakan dasar dari persepsi kedalaman

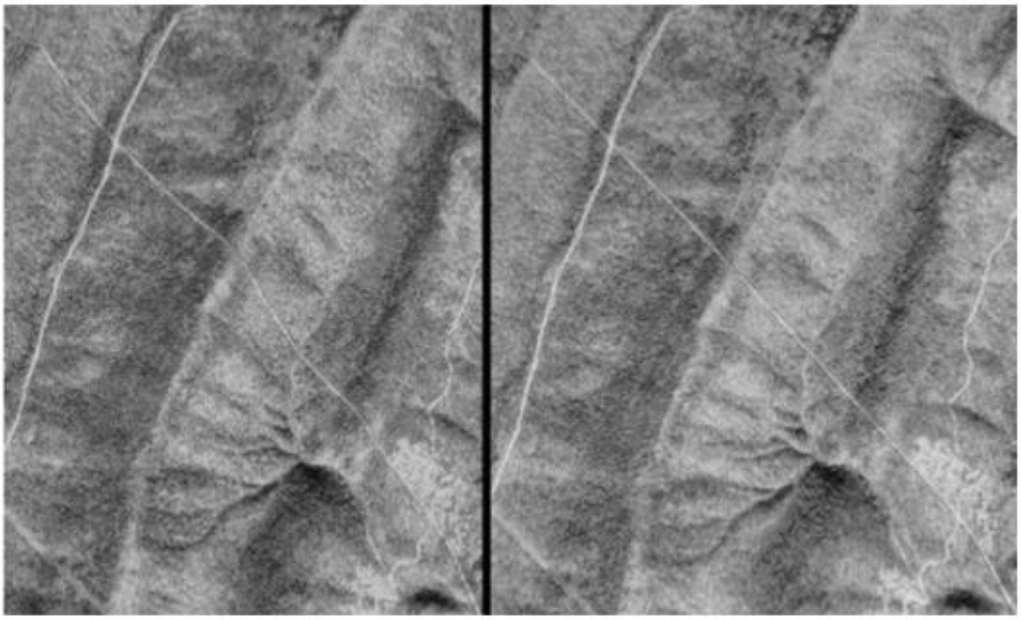


Gambar 6.18 : Ilustrasi paralaks, pergeseran relatif yang tampak pada posisi objek dengan pergeseran posisi penonton. Objek yang lebih jauh (bola, di atas), tampak lebih bergeser saat pemirsa mengubah posisi. Ini adalah dasar dari persepsi kedalaman stereo.

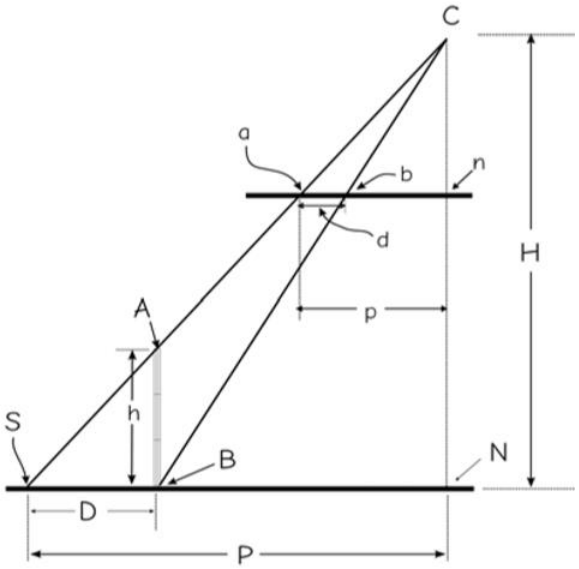
6.2.8 Koreksi Geometris Gambar Udara

Karena distorsi geometrik yang dijelaskan di atas, seharusnya cukup jelas bahwa *gambar* udara yang tidak dikoreksi tidak boleh digunakan secara langsung sebagai dasar untuk pengumpulan data spasial dalam banyak keadaan. Titik, garis, dan batas area mungkin tidak terjadi pada posisi relatifnya yang benar, sehingga pengukuran panjang dan luas mungkin salah. Distorsi ini merupakan campuran kompleks dari efek medan dan kemiringan, dan akan mengubah lokasi, sudut, dan bentuk fitur dalam gambar dan data turunan apa pun. Lebih buruk lagi, ketika data spasial yang berasal dari foto yang tidak dikoreksi digabungkan dengan sumber informasi geografis lainnya, fitur mungkin tidak muncul di lokasi yang benar. Sebuah sungai mungkin jatuh di sisi jalan yang salah atau kota mungkin terletak di danau. Mengingat semua karakteristik positif dari foto udara, bagaimana cara terbaik kita menggunakan sumber informasi yang kaya ini? Untungnya, fotogrametri menyediakan alat yang diperlukan untuk menghilangkan distorsi geometrik dari foto. Gambar dibwah ini mengilustrasikan distorsi pada gambar jalur pipa lurus ke kanan, yang ditekuk pada gambar dengan perbedaan ketinggian dari lembah ke rigdetop (kiri). Pengetahuan tentang geometri *gambar* memungkinkan kita untuk mengoreksi distorsi (Gambar kanan).

Koreksi ini bergantung pada dua set pengukuran utama. Pertama, lokasi pusat perspektif atau pusat fokus setiap gambar harus diketahui. Ini adalah perkiraan lokasi titik fokus kamera pada saat pengambilan gambar. Itu dapat ditentukan dari GNSS yang tepat, atau disimpulkan dari pengukuran tanah. Kedua, beberapa pengukuran langsung atau tidak langsung dari ketinggian medan harus dikumpulkan. Ketinggian ini dapat dikumpulkan di beberapa titik, dan stereopairs digunakan untuk memperkirakan semua ketinggian lainnya, atau dapat ditentukan dari sumber lain, misalnya, sistem survei, radar, atau LiDAR sebelumnya yang dijelaskan nanti dalam bab ini. Dipersenjatai dengan pusat perspektif dan pengukuran ketinggian, kami dapat mengoreksi gambar udara kami.



Gambar 6.19: Contoh penghapusan distorsi saat membuat ortoimage. Jalur pipa yang hampir lurus mencakup gambar yang tidak dikoreksi (kiri) dan yang dikoreksi (kanan), dari kanan bawah ke kiri atas di setiap gambar. Jalur tampak bengkok pada gambar di sebelah kiri karena secara bergantian mendaki punggung bukit dan menuruni lembah. Menggunakan rumus yang dijelaskan di bagian ini, distorsi ini dapat dihilangkan, menghasilkan gambar ortografis di sebelah kanan, menunjukkan lintasan pipa yang hampir lurus (milik USGS).



Gambar 6.20 : Perpindahan relief dapat dihitung berdasarkan pengukuran geometrik. Segitiga sebangun S-N-C dan a-n-C berhubungan tinggi dan jarak dalam foto dan di tanah. Kita biasanya mengetahui ketinggian terbang, H, dan dapat mengukur d dan p pada foto.

Koreksi geometrik gambar udara melibatkan penghitungan distorsi pada setiap titik, dan menggeser lokasi gambar ke posisi ortografis yang benar. Bagian bawah menara di B tercitrakan pada foto di titik b, dan puncak menara di titik A tercitrakan pada foto di titik a. Titik A akan muncul di atas titik B pada peta ortografi. Jika kita menganggap bidang datar di dasar menara sebagai datum, kita dapat menggunakan geometri sederhana untuk menghitung perpindahan dari a ke b pada gambar. Kita akan menyebut perpindahan ini d, dan menjelaskan geometri yang digunakan untuk menghitung perpindahan.

Amati dua segitiga sebangun diatas, satu ditentukan oleh titik S-N-C, dan satu lagi ditentukan oleh titik a-n-C. Segitiga-segitiga ini sebangun karena sudut-sudutnya sama, yaitu, sudut dalam di n dan N sama-sama 90°, segitiga-segitiga tersebut berbagi sudut di C, dan sudut dalam di S sama dengan sudut dalam di a. C adalah pusat fokus lensa kamera, dan dapat dianggap sebagai lokasi yang dilalui semua cahaya. Film dalam kamera ditempatkan di belakang pusat fokus; namun, seperti pada gambar sebelumnya, film ditampilkan di sini di depan pusat fokus untuk kejelasan. Perhatikan bahwa rasio berikut berlaku untuk segitiga serupa:

$$D/P = h/H$$

Dan juga

$$d/p = D/P$$

sehingga

$$d/p = h/H$$

diatur ulang menjadi

$$d = p*h/H$$

dimana :
d = jarak perpindahan
p = jarak dari titik nadir, n, pada foto vertikal ke titik yang dicitrakan a
H = ketinggian terbang
h = ketinggian titik maged

Kita biasanya mengetahui ketinggian terbang, dan dapat mengukur jarak p. Jika kita bisa mendapatkan h, ketinggian titik yang dicitrakan di atas datum, maka kita hitung perpindahannya. Kita mungkin memanjat atau mengamati menara untuk mengukur ketinggiannya, h, dan kemudian menghitung perpindahan foto dengan rumus. Perpindahan relief untuk setiap lokasi yang ditinggikan dapat dihitung asalkan kita mengetahui tingginya. Ketinggian telah lama dihitung dengan pengukuran dari stereopairs, tetapi semakin banyak diukur menggunakan LiDAR. Ketinggian dan rumus ini digunakan untuk menyesuaikan distorsi posisi karena elevasi, titik *gambar* "bergerak" ke posisi ortografis.

Ketika foto dimiringkan, geometri distorsi jauh lebih rumit, seperti rumus yang digunakan untuk menghitung perpindahan kemiringan dan elevasi. Rumus dapat diturunkan yang menggambarkan proyeksi tiga dimensi dari permukaan medan ke bidang film dua dimensi. Rumus ini dan metode penerapannya adalah bagian dari ilmu fotogrametri, dan tidak akan dibahas di sini.

Ortofotograf digital paling sering diproduksi dengan menggunakan perangkat lunak fotogrametri softcopy. Metode ini menggunakan gambar digital (softcopy), baik versi scan dari gambar aerial atau gambar dari kamera digital aerial. Fotogrametri softcopy menggunakan model matematika fotogeometri untuk menghilangkan kemiringan, medan, kamera, atmosfer, dan distorsi lain dari gambar digital. Titik kontrol diidentifikasi pada set foto, stereomodel yang dikembangkan, dan distorsi geometrik yang diperkirakan. Distorsi ini kemudian dihilangkan, menciptakan ortofotografi.

Proses koreksi membutuhkan pengukuran koordinat bayangan dan kombinasinya dengan koordinat tanah x, y, dan z. Koordinat gambar dapat diukur menggunakan penggaris atau kaliper fisik; namun, mereka paling sering diukur menggunakan metode digital. Biasanya gambar diambil dengan kamera digital, atau jika diambil dengan kamera film, gambar dipindai. Pengukuran gambar x dan y kemudian ditentukan relatif terhadap beberapa sistem koordinat gambar tertentu. Pengukuran ini diperoleh dari satu atau banyak gambar. Koordinat tanah x, y, dan z berasal dari survei tanah yang akurat.

Sebuah set rumus ditulis yang menghubungkan gambar x dan y koordinat dengan koordinat x, y, dan z tanah. Himpunan rumus diselesaikan, dan perpindahan dihitung untuk setiap titik pada gambar. Pergeseran kemudian dapat dihapus dan gambar ortografi atau peta dihasilkan. Jarak, sudut, dan luas dapat diukur dari gambar. Gambar ortografik ini, juga dikenal sebagai ortofotografi atau gambar ortografik digital, memiliki atribut foto yang positif, dengan detail yang kaya dan cakupan tepat waktu, dan beberapa atribut positif dari peta kartometrik, seperti skala seragam dan geometri sejati.

Beberapa gambar atau strip gambar dapat dianalisis, dikoreksi, dan digabungkan menjadi satu mosaik. Proses pengembangan fotomodel dari beberapa gambar sekaligus menggunakan

kumpulan rumus yang saling terkait untuk menemukan kumpulan koreksi yang optimal secara global di semua gambar.

6.2.9 Interpretasi Foto

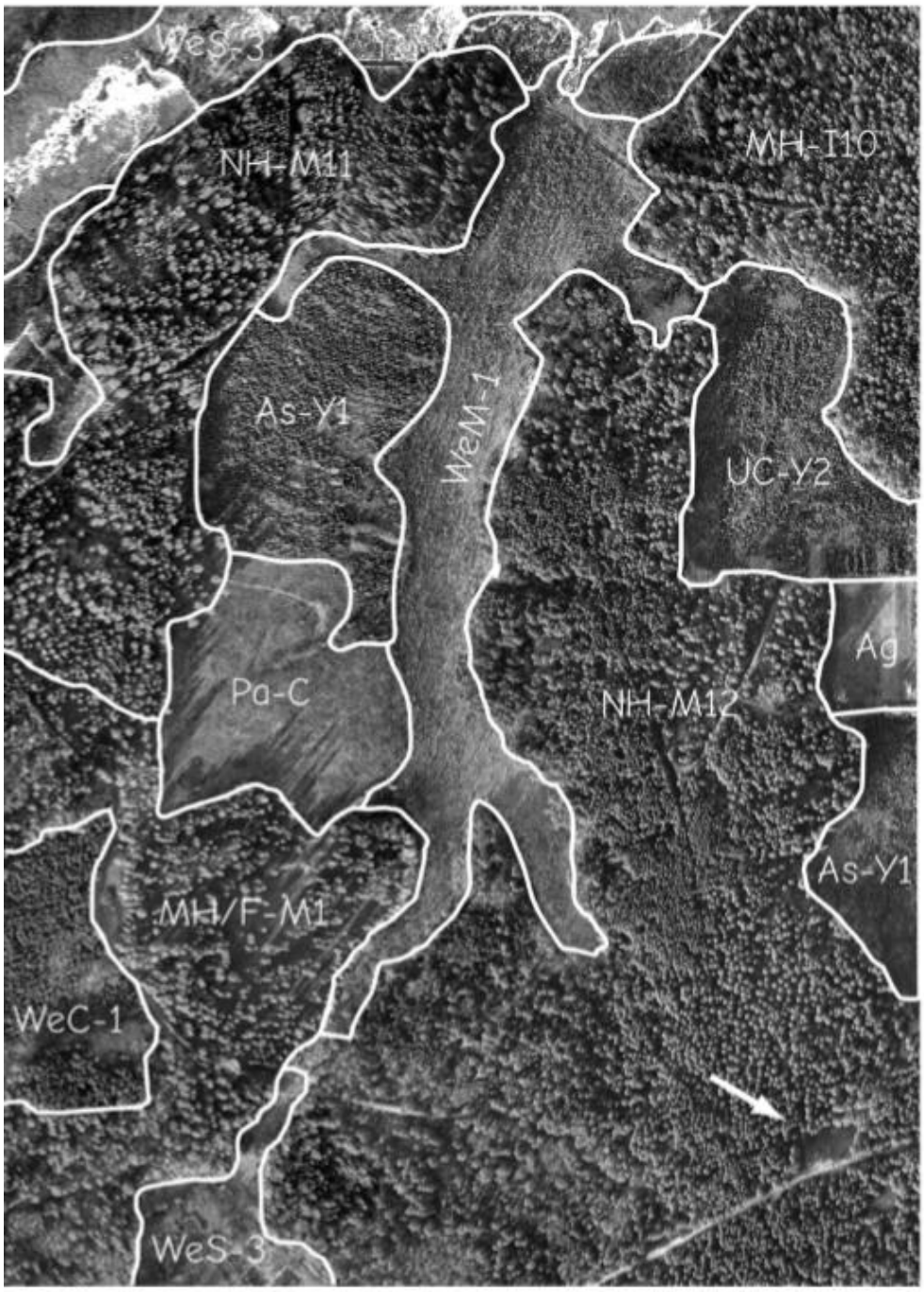
Gambar udara berguna terutama karena kita dapat menggunakannya untuk mengidentifikasi posisi dan sifat fitur yang menarik. Setelah kami menentukan bahwa sistem film dan kamera memenuhi akurasi spasial dan persyaratan informasi kami, kami perlu mengumpulkan foto-foto dan menafsirkannya. Interpretasi foto (atau gambar) adalah proses mengubah gambar menjadi informasi. Interpretasi foto adalah disiplin yang berkembang dengan baik, dengan banyak teknik khusus.

Interpreter menggunakan ukuran, bentuk, warna, kecerahan, tekstur, dan lokasi fitur relatif dan absolut untuk menginterpretasikan gambar. Perbedaan dalam karakteristik diagnostik ini memungkinkan penerjemah untuk membedakan fitur-fiturnya. Pada gambar, poligon di dekat bagian tengah gambar berlabel PaC, padang rumput, terlihat lebih halus daripada poligon yang mengelilinginya, dan poligon di atasnya berlabel As-Y1 menunjukkan tekstur berbutir halus, mencerminkan mahkota pohon yang lebih kecil daripada poligon berlabel NH-M11 di atasnya dan ke kiri. Jenis vegetasi yang berbeda dapat menunjukkan variasi warna atau tekstur yang berbeda, jenis jalan dapat dibedakan berdasarkan lebar atau kemunculan jalur median, dan jenis bangunan dapat ditentukan berdasarkan ukuran atau bentuk.

Penggunaan yang tepat dari semua karakteristik diagnostik mengharuskan penerjemah foto mengembangkan beberapa keakraban dengan fitur yang menarik. Misalnya, sulit untuk membedakan perbedaan antara banyak jenis tanaman sampai penerjemah telah menghabiskan waktu di lapangan, foto di tangan, membandingkan apa yang muncul di foto dengan apa yang ditemukan di lapangan. “Kebenaran dasar” ini sangat berharga dalam mengembangkan pengetahuan lokal yang diperlukan untuk interpretasi *gambar* yang akurat. Jika memungkinkan, kunjungan lapangan harus dilakukan bersamaan dengan foto-foto tersebut. Namun, ini seringkali tidak memungkinkan, dan situs hanya dapat dikunjungi beberapa bulan atau tahun setelah foto-foto dikumpulkan.Pengaruh perubahan melalui waktu pada perbandingan ground-to-image kemudian harus dipertimbangkan.

Interpretasi foto paling sering menghasilkan peta kategoris atau tematik. Fitur yang diidentifikasi ditugaskan ke salah satu dari satu set kelas diskrit. Tanaman mungkin jagung atau kedelai, lingkungan yang digolongkan sebagai perkotaan atau pinggiran kota, atau hutan sebagai hijau atau gugur. Kelas campuran dapat diidentifikasi, misalnya, campuran perkotaan-pedesaan, tetapi batas antara fitur kelas ini dan jumlah kategori terbatas lainnya masih terpisah.

Interpretasi foto mengharuskan kami menetapkan serangkaian kategori target untuk fitur yang diinterpretasikan. Jika kita memetakan jalan, kita harus memutuskan kelas apa yang akan digunakan; misalnya, semua jalan akan dikategorikan ke dalam salah satu kelas ini: tidak beraspal, beraspal satu lajur, beraspal multi lajur tak terbagi, dan beraspal multi lajur terbagi. Kategori tersebut harus inklusif, agar dalam foto kita tidak boleh ada jalan yang multi lajur dan tidak beraspal. Jika ada jalan yang tidak sesuai dengan kelas yang kita tentukan, kita harus memasukkannya ke dalam kategori yang ada, atau kita harus membuat kategori untuknya.



Gambar 6.21 : Interpretasi foto adalah proses mengidentifikasi fitur pada gambar. Interpretasi foto dalam mendukung GIS biasanya melibatkan digitalisasi titik, garis, atau poligon untuk kategori yang diinginkan dari gambar digital atau hardcopy yang di-georeferensi. Dalam contoh di atas, batas antara tipe vegetasi yang berbeda telah diidentifikasi berdasarkan nada dan tekstur yang terekam pada gambar. Panah di kanan bawah menunjukkan "area inklusi", tidak digambar karena lebih kecil dari unit pemetaan minimum.

Interpretasi foto juga mengharuskan kami menetapkan unit pemetaan minimum, atau MMU. Satuan pemetaan minimum mendefinisikan batas bawah pada apa yang kami anggap signifikan, dan biasanya menentukan luas, panjang, dan / atau lebar dari fitur penting terkecil. Panah di pojok kanan bawah menunjuk ke bukaan hutan yang lebih kecil dari unit pemetaan

minimum kami untuk peta contoh ini. Kami mungkin tidak tertarik pada patch terbuka yang lebih kecil dari 0,5 ha, atau segmen jalan yang panjangnya kurang dari 50 m. Meskipun mungkin terlihat pada gambar, fitur yang lebih kecil dari unit pemetaan minimum tidak digambarkan dan ditransfer ke layer data digital.

Terakhir, interpretasi foto untuk membuat data spasial membutuhkan metode untuk memasukkan data hasil interpretasi ke dalam bentuk digital. Digitalisasi pada layar adalah metode yang umum. Fitur titik, garis, dan area yang diinterpretasikan pada gambar dapat digambar secara manual dalam mode pengeditan, dan ditangkap langsung ke layer data. Digitalisasi di layar membutuhkan gambar digital, baik yang dikumpulkan pada awalnya, atau dengan menskalakan foto hardcopy.

Metode umum lainnya terdiri dari interpretasi langsung dari gambar hardcopy. Gambar dapat dilampirkan ke papan digitalisasi dan fitur yang diinterpretasikan langsung dari gambar selama digitalisasi. Ini memerlukan baik menggambar langsung pada gambar atau menempatkan lembar draf yang jelas dan menggambar pada lembar. Lembaran tersebut dihapus pada penyelesaian interpretasi, ditempelkan ke papan digitalisasi, dan data kemudian didigitalkan seperti dengan peta hardcopy. Harus hati-hati mencatat lokasi fitur kontrol pada lembar sehingga dapat didaftarkan

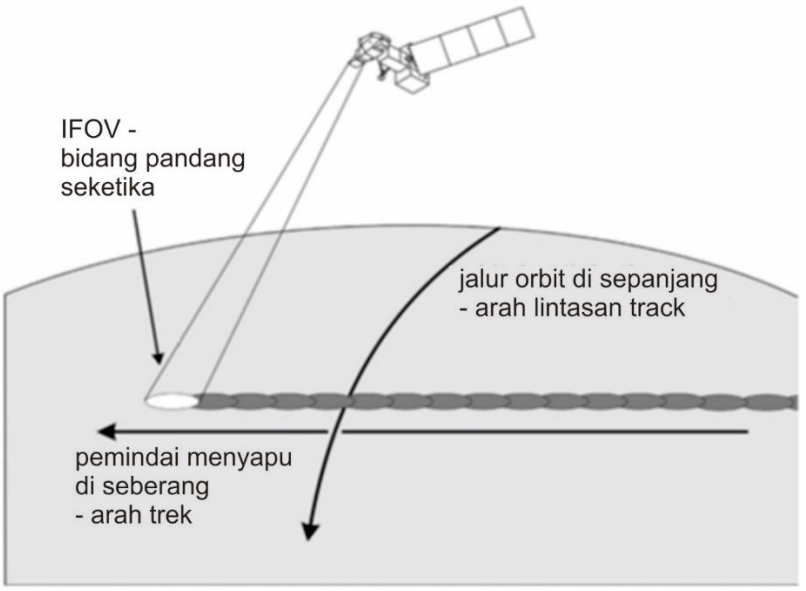
6.3 Gambar Satelit

Pada bagian sebelumnya kami menjelaskan prinsip dasar penginderaan jauh dan spesifikasi pengumpulan dan koreksi gambar menggunakan gambar udara. Dalam banyak hal, *gambar* satelit mirip dengan *gambar* udara ketika digunakan dalam GIS. Motivasi utama adalah untuk mengumpulkan informasi mengenai lokasi dan karakteristik fitur. Namun, ada perbedaan penting antara sistem pemindaian fotografi dan berbasis satelit yang digunakan untuk pengumpulan gambar, dan perbedaan ini mempengaruhi karakteristik dan penggunaan gambar satelit.

Pemindai satelit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem pencitraan udara. Pemindai satelit juga memiliki perspektif yang sangat tinggi, yang secara signifikan mengurangi distorsi yang disebabkan oleh medan. Mungkin ada sejumlah kelemahan dalam memilih *gambar* satelit daripada *gambar* udara. *Gambar* satelit biasanya mencakup area yang lebih luas, jadi jika area yang diinginkan kecil, biayanya mungkin tinggi. *Gambar* satelit mungkin memerlukan perangkat lunak pengolah *gambar* khusus. Akuisisi gambar udara mungkin lebih fleksibel karena pilot dapat terbang dalam waktu singkat. Banyak gambar udara memiliki resolusi efektif yang lebih baik daripada gambar satelit. Terakhir, foto udara sering kali tersedia dengan biaya yang lebih rendah dari sumber pemerintah. Banyak dari kekurangan penggunaan *gambar* satelit ini berkurang karena lebih banyak pemindai yang beresolusi lebih tinggi dan dapat diarahkan ditempatkan di orbit.

6.3.1 Prinsip Dasar Scanner Gambar Satelit

Pemindai beroperasi dengan mengarahkan detektor ke area yang akan dicitrakan. Setiap detektor memiliki bidang pandang sesaat, atau IFOV, yang sesuai dengan ukuran area yang dilihat oleh setiap detektor. Meskipun IFOV mungkin tidak persegi dan sel raster biasanya berbentuk persegi, IFOV ini dapat dianggap kira-kira sama dengan ukuran sel raster untuk *gambar* yang diperoleh.



Gambar 6.22 : Sistem Scanner (pemindaian) tempat. Pemindai menyapu bidang pandang seketika (IFOV) di arah lintas jalur untuk merekam respons multispektral. Sapuan berikutnya arah sepanjang jalur yang ditangkap saat satelit bergerak maju di sepanjang jalur orbit.

Gambar 6.23: Sebagian dari tata letak jalur dan baris untuk sistem satelit Landsat. Setiap persegi panjang berlabel sedikit tumpang tindih sesuai dengan jejak *gambar* satelit.

Pemindai membuat gambar dua dimensi dari permukaan dengan mengarahkan detektor atau detektor pada setiap sel dan merekam energi yang dipantulkan. Data biasanya dikumpulkan dalam arah lintas jalur, tegak lurus terhadap jalur penerbangan satelit, dan dalam arah sepanjang jalur, sejajar dengan arah perjalanan. Beberapa desain pemindai mencapai pemindaian lintas dan sepanjang jalur ini. Beberapa desain lama menggunakan detektor titik dan sistem cermin serta lensa untuk menyapu titik di trek. Gerakan maju satelit memposisikan pemindai untuk petak berikutnya dalam arah sepanjang jalur. Desain lain memiliki rangkaian detektor linier – garis detektor dalam arah melintang. Garis lintas-track diambil sampelnya sekaligus, dan gerakan maju dari satelit memposisikan susunan untuk baris berikutnya dalam arah sepanjang-track. Akhirnya, larik dua dimensi dapat digunakan, terdiri dari larik detektor

segi empat. Reflektansi dikumpulkan dalam sebuah tambalan di kedua jalur lintas dan arah sepanjang jalur.

Satelit penginderaan jauh juga mengandung sejumlah subsistem lain untuk mendukung pengumpulan data citra. Catu daya diperlukan, biasanya terdiri dari panel surya dan baterai. Ketinggian yang tepat dan kontrol orbit diperlukan, sehingga satelit membawa subsistem navigasi dan pemosisian. Sensor mengevaluasi posisi satelit dan arah penunjuk, dan pendorong serta komponen kontrol lainnya mengarahkan satelit. Ada subsistem penyimpanan data, dan subsistem komunikasi untuk mengirimkan data kembali ke Bumi dan untuk menerima kendali dan informasi lainnya. Semua aktivitas ini dikoordinasikan oleh sistem komputasi onboard.

Beberapa sistem satelit penginderaan jauh telah dibangun, dan data telah tersedia untuk aplikasi permukaan tanah sejak awal 1970-an. Detail, frekuensi, dan kualitas *gambar* satelit terus meningkat, dan ada beberapa sistem penginderaan jauh satelit yang saat ini beroperasi.

Data satelit sering kali dikumpulkan secara nominal dalam sistem jalur / baris. Seperangkat jalur kira-kira utara-selatan ditetapkan, dengan baris kira-kira timur-barat diidentifikasi melintasi jalur. Lokasi pemandangan satelit kemudian dapat ditentukan dengan nomor jalur/baris. Data satelit juga dapat dipesan untuk area yang disesuaikan, tergantung pada fleksibilitas sistem akuisisi.

Karena sebagian besar satelit berada di orbit dekat kutub, gambar tumpang tindih paling dekat dengan kutub. Gambar yang berdekatan biasanya tumpang tindih sedikit di dekat ekuator. Orbit miring sering kali sinkron matahari, artinya satelit lewat di atas kepala pada waktu setempat yang kira-kira sama

6.3.2 Sistem Satelit Resolusi Tinggi

Ada sejumlah besar dan terus bertambah dari sistem satelit resolusi tinggi, di sini agak sewenang-wenang didefinisikan di sini sebagai orang-orang dengan resolusi lebih halus dari 3 m. Ini adalah resolusi yang sudah lama tersedia pada foto udara skala terbesar, dan digunakan untuk pemetaan skala halus dari fitur detail seperti trotoar, rumah, jalan, pohon individu, dan perubahan lanskap area kecil. Sistem komersial yang menyediakan resolusi 30 cm sedang beroperasi, dengan sistem resolusi yang lebih tinggi dalam sekejap. Detail ini mengaburkan perbedaan antara *gambar* satelit dan berbasis foto.

Gambar dari sistem satelit resolusi tinggi dapat menjadi sumber yang sesuai untuk data spasial di sejumlah pengaturan. Gambar-gambar ini memberikan detail substansial dari fitur buatan manusia dan alam, dan cocok dengan resolusi spasial dan detail penerima GNSS dengan akurasi tinggi. Mereka biasanya diperlukan oleh kota dan bisnis untuk manajemen aset skala halus, misalnya, dalam inventarisasi pohon perkotaan, pemantauan konstruksi, atau penilaian kerusakan akibat badai. Hampir semua sistem memiliki optik yang dapat diarahkan atau kontrol orientasi satelit, yang menghasilkan waktu kunjungan ulang yang singkat, dalam urutan satu hingga beberapa hari.

Rentang spektrum, harga, ketersediaan, keandalan, fleksibilitas, dan kemudahan penggunaan dapat menjadi faktor yang lebih penting dalam memilih antara *gambar* udara dan *gambar* satelit resolusi tinggi. Data satelit menarik saat mengumpulkan data untuk area yang lebih luas, atau di tempat yang tidak bijaksana atau tidak aman untuk mengoperasikan pesawat terbang,

atau karena data untuk area yang luas dapat dikoreksi secara geometris dengan biaya dan waktu yang lebih sedikit. Gambar udara mungkin lebih disukai jika resolusi beberapa sentimeter diperlukan, atau untuk area yang lebih kecil, di bawah jendela perolehan yang lebih sempit, atau dengan kluster instrumen yang tidak memungkinkan dari luar angkasa. Gambar udara tidak akan sepenuhnya digantikan oleh satelit, tetapi gambar tersebut mungkin didorong ke resolusi terbaik dan koleksi berukuran kabupaten atau lebih kecil.

Gambar 6.24: Gambar resolusi 0,3 m dari Tambang Kalgoorlie di Australia Barat, menunjukkan detail yang tersedia dari sistem pencitraan satelit resolusi tertinggi (milik Digital Globe.).

Gambar 6.25 : Gambar resolusi 0,5 m dari satelit WorldView-2 (milik DigitalGlobe).

Hingga akhir 2015, terdapat beberapa sistem satelit operasional yang mampu memperoleh *gambar* global pada resolusi 1 m atau lebih baik, termasuk WorldView, GeoEye, Pleiades, dan SPOT. Satelit dan sistem terkait ini sebagian besar adalah perusahaan komersial, didanai dan dioperasikan oleh bisnis. Ada beberapa sistem resolusi tinggi yang baru saja dinonaktifkan yang data arsipnya tersedia dan masih berguna, termasuk satelit Ikonos yang beroperasi dari 1999 hingga awal 2015, dan sistem Quickbird, yang beroperasi dari 2001 hingga awal 2015.

Satelit Worldview-3 saat ini memberikan resolusi tertinggi yang tersedia secara global, dengan resolusi maksimum 31 cm disediakan sebagai gambar pankromatik, dengan tambahan delapan pita pada resolusi 1,24 m, delapan pita inframerah gelombang pendek pada resolusi 3,7 m untuk penetrasi kabut dan asap, dan 12 pita pada resolusi 30 m. Gambar dikumpulkan dalam lebar petak 13,1 km di titik nadir, dan karena reorientasi satelit memiliki waktu kunjungan kembali kurang dari satu hari, dengan cakupan global efektif dalam basis 4 hari. Resolusi off-nadir lebih buruk dari 30 cm, tetapi dapat mencitrakan seluruh bola dunia dengan resolusi lebih baik dari 50 cm dalam periode 4,5 hari. Gambar dikumpulkan sekitar pukul 10:30 waktu setempat, karakteristik umum dari sistem sinkron matahari yang mengorbit kutub ini.

Worldview-1 dan -2 diawali -3, dan masih mengumpulkan data. WorldView-1 menyediakan gambar pankromatik 0,5 m , sedangkan Worldview-2 menyediakan gambar pankromatik dan multispektral 0,46 m pada 1,8 m. Data dikumpulkan sesering interval pengembalian 1,7 hari saat memberikan resolusi 1 m, dan 6 hari dengan resolusi 0,5 m. Gambar memiliki lebar sapuan kira-kira 17 km.

GeoEye-1 diluncurkan pada pertengahan 2008 ke orbit sinkron matahari dengan waktu pengumpulan lokal mendekati pukul 10:30 pagi Resolusi gambar telah berubah seiring waktu, tetapi saat ini mengumpulkan gambar pankromatik dengan resolusi 46 cm dan gambar multispektral yang membentang biru hingga bagian spektrum inframerah-dekat pada resolusi 1,84 m. Ada lebar pemindaian nominal 15,2 km di titik nadir, dan pencitraan di luar titik nadir memungkinkan interval pengembalian sesingkat 2 hari. Meskipun sistem memiliki umur desain 7 tahun, sistem ini mungkin beroperasi lebih lama, mengingat sistem pencitraan satelit sering berfungsi untuk menggandakan interval yang dirancang.

Pleiades-1 dan -2 diluncurkan pada akhir 2011 dan 2012 oleh konsorsium Eropa, dengan masa pakai desain lima tahun. Sistem ini menyediakan data pankromatik 50 cm dan multispektral 2 m dengan warna biru melalui pita inframerah-dekat, dengan lebar petak 20 km pada titik nadir. Bidang orbit sinkron matahari diimbangi oleh 180°, dengan satelit yang dapat dituju, memungkinkan kunjungan ulang setiap hari oleh konstelasi.

Kumpulan gambar resolusi tinggi lainnya berasal dari Systeme Pour l'Observation de la Terre (SPOT), versi SPOT-6 dan SPOT-7. Ini adalah evolusi dari sekumpulan satelit resolusi menengah, SPOT-1 hingga -5, yang dijelaskan di bagian selanjutnya. Satelit resolusi tinggi membawa pemindai multispektral 1,5 m pankromatik dan 6 m resolusi, yang terakhir dengan empat pita yang mencakup spektrum inframerah-dekat yang terlihat. SPOT memiliki lebar petak 60 km pada titik nadir. Perhatikan bahwa lebar petak yang lebih besar ini menyediakan 15 hingga 40 kali cakupan area satelit resolusi tertinggi, dan menggambarkan trade-off yang lebih umum antara resolusi *gambar* satelit dan area yang dicakup oleh setiap citra. Satelit SPOT memiliki kemampuan kunjungan ulang setiap hari, sepenuhnya mencakup daratan Bumi setiap dua bulan.

Sejumlah sistem pencitraan satelit resolusi tinggi memiliki fokus lokal. Satelit KOMPSAT-2 dirancang untuk mengumpulkan data terutama di Asia timur, dan menyediakan data pankromatik resolusi 1 m dan multispektral 4 m. Satelit Cartosat-2 yang diluncurkan pada tahun 2007, menyediakan data pankromatik resolusi 0,9 m, terutama difokuskan di Asia Selatan.

Ada beberapa sistem baru yang direncanakan atau sedang berlangsung. Satelit DMC3, oleh Surrey Satellite Technology Ltd., pertama kali diluncurkan pada pertengahan 2015 dan menyediakan data 1 m pankromatik dan 4 m multispektral dari orbit sinkron matahari 651 km, dengan lebar petak 24 km. SSTL merencanakan konstelasi tiga satelit untuk menyediakan cakupan yang lebih sering, dengan penerapan sistem penuh yang direncanakan pada tahun 2017.

Skysat-1 diluncurkan pada akhir 2013 dan terkenal karena menyediakan gambar resolusi tinggi berdasarkan satelit kecil, pendekatan biaya rendah. Pendekatan ini dapat menghasilkan konstelasi satelit yang lebih besar dengan kunjungan ulang yang lebih sering, dan gambar dengan harga lebih rendah. Saat ini ada konstelasi 15 satelit yang direncanakan, dengan peluncuran dijadwalkan setidaknya hingga 2018. Skysat menyediakan mode pankromatik pita tunggal 90 cm dan empat pita multispektral resolusi 2 m, yang terakhir berwarna biru melalui wilayah inframerah-dekat. Ada lebar petak nominal 8 km di titik nadir data multispektral, dan 2 km untuk gambar pankromatik. Interval pengulangan akan tergantung pada jumlah satelit yang dikerahkan.

Gambar 6.26 : Gambar SPOT-6 dari Bora-Bora, mendemonstrasikan resolusi tinggi pada area yang relatif luas yang tersedia dari sistem (milik SPOT Image Corp.).

Planet Labs membawa gagasan konstelasi satelit kecil, murah, resolusi tinggi ini lebih jauh, dengan armada yang direncanakan lebih dari 130 satelit "merpati", kira-kira seukuran kotak surat rute pedesaan, yang disebarkan secara murah dalam kelompok. Satelit pertama

diluncurkan pada 2013, dengan penyebaran 28 satelit pada 2014, dan konstelasi penuh diharapkan terjadi pada akhir 2015.

Sistem menentukan gambar beresolusi 3 hingga 5 m, yang mencakup kategori resolusi tinggi hingga menengah. Waktu kunjungan ulang setiap hari oleh konstelasi direncanakan, dengan gambar dijahit bersama untuk cakupan global yang lengkap, memperbarui mosaik setiap hari.

6.3.3 Sistem Satelit Resolusi Menengah

Ada beberapa sistem satelit resolusi menengah, di sini didefinisikan sebagai sistem yang menyediakan gambar dengan resolusi dari 5 m hingga kurang dari 100 m. Ini paling sering digunakan untuk analisis area menengah hingga luas, misalnya, pemetaan tutupan lahan di tingkat kabupaten, regional, atau nasional, atau kebakaran hutan atau pengelolaan banjir di area yang luas. Koleksi gambar individu umumnya beberapa puluh hingga ratusan kilometer dalam satu sisinya, dan ditinjau kembali dari beberapa hari hingga beberapa minggu.

SPOT adalah salah satu sistem pencitraan satelit yang berjalan paling lama dan tidak terputus. Pemerintah Prancis memimpin pengembangan SPOT, yang berpuncak pada peluncuran SPOT-1 pada awal 1986. Sejak itu, ada empat satelit SPOT tambahan, berlabel dua hingga lima, ditempatkan di orbit. SPOT adalah sistem satelit pertama yang dirancang untuk melayani kepentingan komersial, dalam mode produksi bervolume tinggi.

SPOT-5 adalah satu-satunya sistem *gambar* satelit resolusi menengah yang tersisa dalam seri ini, karena SPOT-1 hingga -4 telah dinonaktifkan. Semua satelit SPOT menyediakan mode pankromatik dan mode terlihat resolusi tinggi (HRV). Mode pankromatik pada SPOT-1 hingga SPOT-3 berisi satu pita gambar dalam panjang gelombang yang terlihat, dan mode HRV masing-masing menyediakan satu pita di bagian spektrum hijau, merah, dan inframerah dekat. Mode pankromatik pada satelit pertama ini memiliki resolusi spasial 10 m, dan mode HRV memiliki resolusi spektral 20 m. SPOT-4 dan SPOT-5 meningkatkan resolusi pankromatik menjadi antara 2,5 dan 10 m, dan menambahkan pita inframerah-tengah 10 hingga 20m ke mode HRV. Kombinasi ini memberikan resolusi tinggi pada area yang luas, dan data SPOT secara rutin digunakan dalam sejumlah manajemen sumber daya, perencanaan kota, dan aplikasi lainnya.

Gambar 6.27: Contoh gambar dari sistem satelit SPOT. Gunung berapi aktif Meksiko Popocatepetl terlihat di pusat gambar. Gambar ini menunjukkan cakupan area yang luas dan detail halus yang tersedia dari sistem SPOT (milik SPOT Image Corp.).

Pemindai SPOT memiliki optik yang dapat diarahkan ke area hingga 27° di kedua sisi jalur satelit. Ini mengurangi waktu kunjungan ulang menjadi antara satu dan lima hari, dan memungkinkan pengumpulan stereopairs satelit yang sesuai untuk pemetaan ketinggian.

Gambar SPOT juga dapat digunakan untuk membuat data elevasi, karena sensor yang dapat diarahkan. Sama seperti paralaks dapat digunakan dengan gambar udara untuk menentukan ketinggian medan, paralaks dapat diukur dari satelit untuk memperkirakan ketinggian. Pemindai mungkin mengarah ke depan dan ke belakang sepanjang jalur penerbangan, atau melintasi jalur penerbangan terpisah untuk menggambarkan suatu area. Perpindahan relatif pada *gambar* tergantung pada ketinggian relatif di permukaan tanah. Pengukuran yang cermat memungkinkan kami mengubah perpindahan gambar menjadi ketinggian dengan sedikit kontrol tanah. Seperti disebutkan sebelumnya, SPOT-6 dan SPOT7 adalah penerus, dan mereka menyediakan data gambar dengan resolusi antara 1,5 m (pankromatik) dan 6 m (mutlispektral). Sampai tulisan ini dibuat, tidak ada rencana untuk meluncurkan satelit tambahan pada resolusi yang lebih kasar dari SPOT-5, mengingat jarak 60 km yang sama untuk satelit penerus.

6.3.4 Landsat

Satelit Landsat-8 adalah yang terbaru dari seri satelit pencitraan resolusi menengah terpanjang. Landsat-8 mengumpulkan pita pankromatik resolusi 15 m, 8 pita multispektral pada jarak 30 m di bagian spektrum yang terlihat, inframerah dekat, dan inframerah tengah, dan dua pita dalam kisaran inframerah termal dengan resolusi 100 m. Sistem ini memiliki lebar petak 185 km pada titik nadir dan interval pengulangan 16 hari.

Landsat-8 menggunakan instrumen yang disebut *Operational Land Imager* (OLI) untuk mengumpulkan pita nontermal. Pita khusus yang digunakan dipilih agar kompatibel dengan misi Landsat sebelumnya, dan untuk meningkatkan deteksi awan dan analisis kabut aerosol/atmosfer. OLI juga meningkatkan kedalaman bit, atau lebar data dari 8 menjadi 12 bit, memberikan respons yang lebih luas dan lebih sensitif, serta gambar yang lebih jelas dan lebih detail.

Karena Landsat adalah sistem satelit pengamat Bumi pertama dan telah beroperasi hampir secara terus menerus sejak tahun 1972, terdapat gudang *gambar* yang mencakup lima dekade. Sebagian besar gambar ini. tersedia gratis bagi siapa saja yang memiliki koneksi internet, memungkinkan pemantauan dan analisis jangka panjang. Gambar Landsat-8 diproses dan ditambahkan ke arsip ini, biasanya dalam beberapa hari pengumpulan, menghasilkan sumber gambar skala luas yang murah. Rangkaian waktu yang lama ini sangat sesuai untuk analisis perubahan, asalkan perbedaan antara resolusi dan format data lama dan baru ditangani.

Satelit Landsat sebelumnya telah membawa tiga pemindai pencitraan utama. Multispectral Scanner (atau MSS) adalah pemindai darat berbasis satelit pertama, diluncurkan pada tahun 1972, dan telah dibawa ke satelit Landsat 1 hingga 5. MSS asli terindera dalam empat pita spektral, pada resolusi 80 m: warna hijau , merah, dan dua pita inframerah.

Mulai tahun 1984, satelit Landsat juga membawa Thematic Mapper (TM) atau Enhanced Thematic Mapper (ETM +), peningkatan dari MSS. Data TM berisi tujuh pita spektral (tiga tampak, satu inframerah dekat, dua inframerah tengah, dan satu pita termal), dan resolusi sel grid 28,5 m untuk enam pita pertama. ETM + menambahkan pita pankromatik resolusi 15 m yang menutupi panjang gelombang yang terlihat. Satelit memiliki interval pengembalian 16 hingga 18 hari.

Karena ketidaksepakatan tentang pendanaan penggantian satelit, Landsat-7 dioperasikan jauh melewati masa pakai yang dirancang, dan memberikan data yang dikompromikan selama tahun-tahun berikutnya operasi. Data dari ETM + menjadi terdegradasi pada tahun 2003 karena kegagalan cermin pemindaian, secara substansial mengurangi utilitas sekitar 30% di luar setiap gambar. Pemandangan dari daerah kutub tinggi sedikit terpengaruh karena ada banyak tumpang tindih antar jalur. Namun, sekitar 30% wilayah di daerah tropis secara efektif tidak tercontohkan oleh Landsat-7.

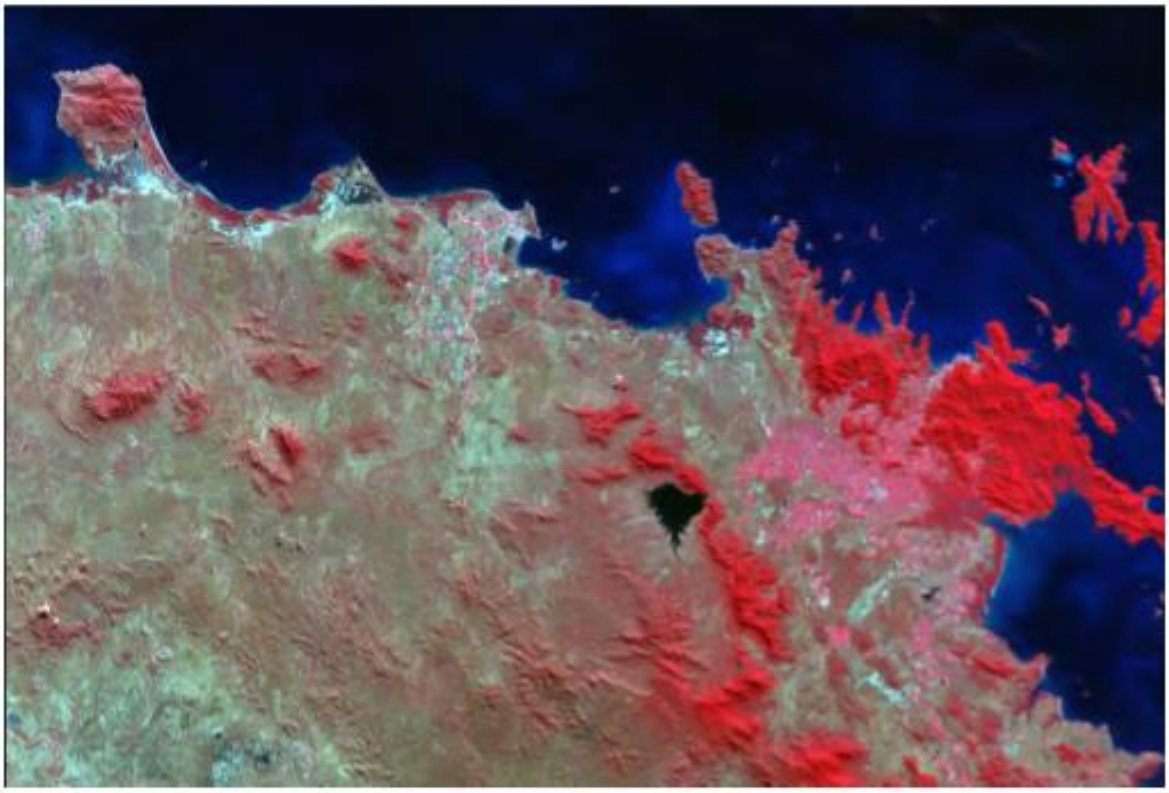
Gambar 6.28: Contoh *gambar* Landsat-5, menunjukkan Delta Sungai Mississippi. Satelit resolusi menengah sangat sesuai untuk analisis regional atau area besar lainnya (milik NASA).

Landsat digunakan di banyak proyek, di seluruh dunia, karena luasnya pita radiometrik, area pemindaian yang besar untuk *gambar* individu, rekaman data yang panjang, dan data tanpa biaya. Landsat adalah dasar dari banyak proyek pemetaan tutupan lahan di seluruh negara bagian dan nasional, dan telah digunakan untuk menilai kualitas air di danau dan wilayah pesisir. Landsat sangat sesuai untuk deteksi perubahan, dan banyak pekerjaan telah menetapkan metode untuk koreksi radiometrik melalui waktu dan lintas sensor, sehingga rangkaian gambar waktu dapat digunakan untuk memetakan pertumbuhan kota, perubahan vegetasi, dan lintasan kualitas air.

6.3.5 Resourcesat

Organisasi Penelitian Luar Angkasa India telah meluncurkan sejumlah satelit yang dirancang untuk pengamatan Bumi, termasuk seri Cartosat, yang dijelaskan sebelumnya, dan seri IRS, dimulai dengan IRS1A pada tahun 1988. Satelit awal sebagian besar eksperimental dan gambar tidak didistribusikan secara luas, atau diklasifikasikan, tetapi dua, Resourcesat-1 dan Resourcesat-2, menyediakan data berkualitas tinggi, area luas, resolusi sedang di sebagian besar dunia.

Resourcesats telah membawa tiga pemindai, LISS-IV dengan resolusi 5,8m, LISS-III dengan resolusi 23,5m, dan AWiFS dengan resolusi 56m. Lebar petak (gambar) meningkat dari 70 km melalui 141 km menjadi 740 km untuk tiga instrumen, dengan siklus pengulangan 5 hari untuk sensor AWiFS. AWiFS paling umum digunakan di luar India, dan menyediakan pita penginderaan biru, hijau, merah, dan inframerah dekat, dengan data 10-bit. Gambar-gambar ini sering digunakan untuk analisis regional hingga nasional karena ukuran gambar yang besar dan resolusi sedang.



Gambar 6.29: Resourcesat, LISS 3 komposit inframerah tampak/dekat dari daerah pesisir. Resourcesat menyediakan data resolusi menengah di area yang luas dengan biaya yang wajar.

6.3.6 RapidEye

RapidEye adalah konstelasi lima satelit yang menyediakan gambar dengan resolusi hingga 5 m, dalam lima pita yang mencakup biru melalui spektrum inframerah dekat. Lebar petak adalah 77 km pada titik nadir, dengan interval pengulangan 5,5 hari untuk kumpulan titik nadir. Interval pengulangan satu hari dimungkinkan untuk tampilan di luar titik nadir, tetapi seperti semua koleksi miring, dengan resolusi yang dikurangi. Satelit diluncurkan secara bersamaan

pada tahun 2008, dengan masa desain tujuh tahun. Satelit penerus saat ini sedang direncanakan.

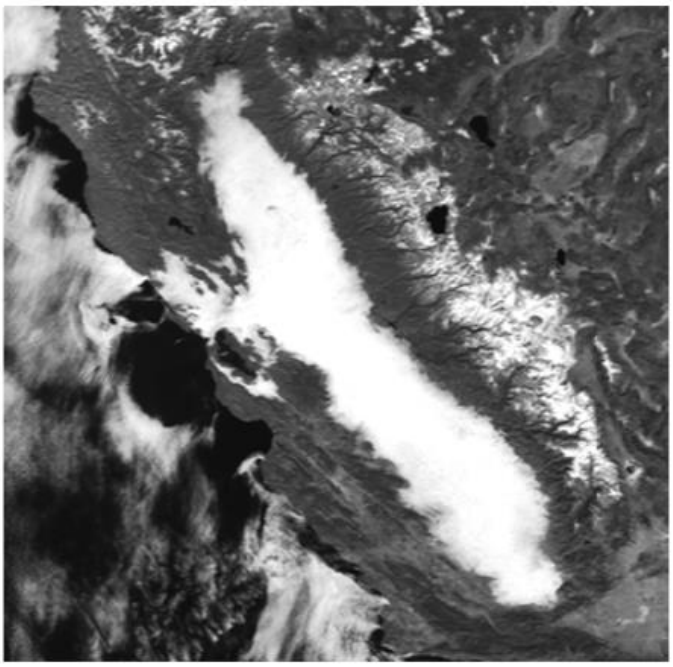
RapidEye mungkin merupakan ciri dari era baru sistem penginderaan jauh resolusi tinggi dan menengah. Ini dikembangkan dan digunakan oleh entitas swasta, dan kepemilikan telah berubah selama kehidupan sistem. Meskipun teknologi terkini dan akuisisi serta pengiriman yang gesit didukung, kontinuitas akuisisi untuk sensor spesifik kurang pasti. Sistem ini mungkin memberikan keuntungan untuk aplikasi sekali-sekali atau jangka pendek, seperti pada penilaian bencana tertentu atau pemetaan tanaman tahunan, tetapi mungkin memberikan kerugian untuk pemantauan jangka panjang atau deteksi perubahan, misalnya, perubahan tutupan lahan selama beberapa dekade.

Resolusi Kasar, Sistem Satelit Global

Saat ini ada dua sensor resolusi kasar yang banyak digunakan, Moderate Resolution Imaging Sensor, atau MODIS, dan VEGETATION, dan yang ketiga sedang diterapkan, VIIRS. MODIS adalah sistem penelitian NASA yang mengumpulkan data pada berbagai resolusi dan pita gelombang, dari yang terlihat hingga pita inframerah termal. Resolusi bergantung pada pita dan bervariasi dari 250 m hingga 1 km, dan memiliki frekuensi pengulangan setiap satu hingga dua hari untuk seluruh permukaan bumi saat gambar diambil sampelnya pada resolusi 1 km. Tiga puluh enam pita dikumpulkan saat dioperasikan dalam mode 1 km, mulai dari 0,4 m hingga 14,4 m. Hanya dua pita yang dikumpulkan pada resolusi 250 m, masing-masing di bagian merah dan inframerah dari spektrum cahaya. Ini agak unik karena resolusinya lebih halus daripada resolusi 1 km AVHRR dan sebagian besar data MODIS, tetapi jauh lebih kasar daripada satelit Landsat, SPOT, dan resolusi sedang. Cakupan area yang luas dimungkinkan pada tingkat detail menengah saat menggunakan data MODIS 250 m.

Gambar 6.30 : Gambar resolusi MODIS 250 m dari Italia utara dan Swiss. Pegunungan Alpen yang tertutup salju melintasi bagian tengah gambar ini, di utara lembah Sungai Po di Italia. Awan kumulus kecil terlihat, seperti kekeruhan di Laut Mediterania dan variasi tutupan lahan (milik NASA).

VEGETASI dikembangkan oleh badan antariksa nasional Prancis, CNES. Ia mengumpulkan data dalam spektrum biru, merah, inframerah dekat, dan inframerah gelombang pendek, dengan resolusi nadir 1,15 km dan lebar petak 2400 km, menghasilkan cakupan harian. Sistem pemindaian dirancang khusus untuk memantau vegetasi dan lingkungan fisik untuk benua dan area yang lebih luas, dan telah digunakan untuk memantau tanaman, kebakaran, badai, dan fenomena lainnya.



Gambar 6.31 : Kabut tebal menyelimuti Central Valley of California dalam contoh gambar ini dari sensor VEGETATION (courtesy CNES).

Satelit MODIS diluncurkan pada akhir 1999/pertengahan 2000, dengan umur desain enam tahun, sehingga mereka telah hidup lebih lama dari misi mereka, meskipun mereka terus berfungsi.

VIIRS adalah instrumen penerus MODIS, dibuat untuk mengumpulkan data untuk analisis cuaca dan permukaan tanah. Ini mengumpulkan 9 pita inframerah-dekat yang terlihat ditambah pita siang/malam, 8 pita inframerah-tengah, dan 4 pita inframerah gelombang panjang. VIIRS mengumpulkan data pada resolusi 375 dan 750 m, dan lebar petak seluas 3.040 km, menyediakan cakupan global setiap hari. Ini dikembangkan sebagian sebagai penerus MODIS, untuk menjaga kontinuitas di beberapa band dan produk MODIS.

6.3.8 MERIS

MERIS adalah pemindai wide-swath yang dibawa dalam Envirosat ESA. Dengan 15 pita yang dapat dipilih pada resolusi maksimum 300m, petak 1150 km (750 mil), dan cakupan global 3 hari, sistem ini dalam banyak hal merupakan peningkatan pada MODIS. Banyak pita

ditentukan secara sempit untuk suatu tujuan, misalnya, beberapa pita klorofil dan sedimen untuk kualitas air dan vegetasi, pita kuning, dan pita untuk membantu koreksi atmosfer.

Sistem MERIS dirancang sebagian untuk aplikasi oseanografi, dengan pita khusus yang disetel ke tingkat pengembalian rendah dari target laut. Ini mengarah pada peningkatan ekstraksi informasi dari perairan, mungkin dengan mengorbankan pita-pita tersebut ketika merasakan target berbasis darat yang lebih cerah. Saturasi respons terjadi ketika reflektansi mencapai nilai tertinggi yang dapat direkam oleh sensor.

6.3.9 Sistem Lainnya

Ada beberapa sistem penginderaan jauh udara dan satelit lainnya yang sedang beroperasi atau sedang dikembangkan. Meskipun beberapa cukup khusus, masing-masing dapat berfungsi sebagai sumber data yang penting. Beberapa mungkin memperkenalkan teknologi yang sama sekali baru, sementara yang lain mengganti atau memberikan peningkatan bertahap ke sistem yang ada. Ruang mencegah penawaran kami lebih dari sekadar deskripsi singkat tentang sistem satelit ini di sini.

Sistem optik pasif - ada beberapa sistem penginderaan jauh yang didasarkan pada radiasi insiden yang dipantulkan. Ini termasuk sistem IRS yang digunakan oleh pemerintah India, dengan pita pankromatik 5 m dengan interval kunjungan ulang lima hari, tiga pita 24 m yang membentang hijau melalui bagian spektrum inframerah dekat, dan satu pita 70 m di bagian inframerah tengah. dari spektrum.

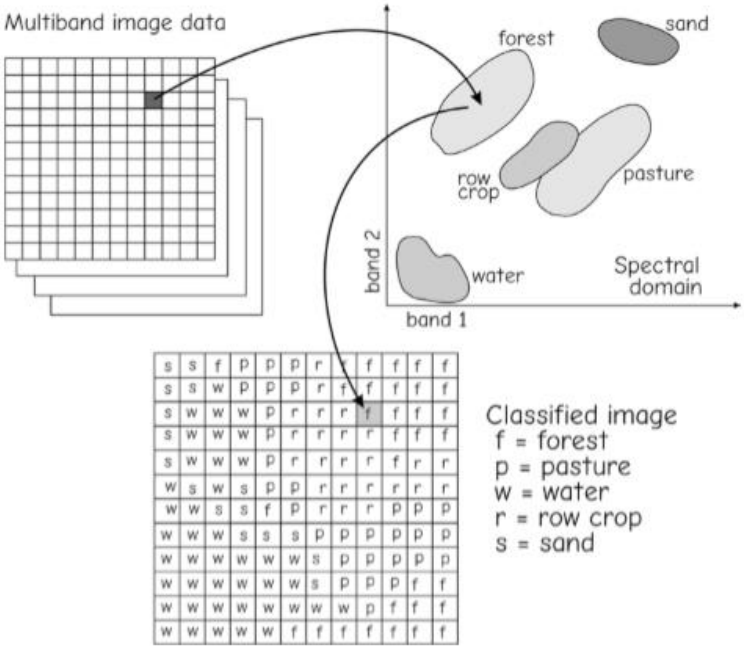
Sejumlah sistem satelit berbasis radar telah digunakan sebagai sumber data spasial untuk GIS. Panjang gelombang radar jauh lebih panjang daripada sistem penginderaan jauh optik, dari sekitar satu hingga puluhan sentimeter, dan dapat digunakan siang atau malam, melalui sebagian besar kondisi cuaca. Gambar radar adalah pankromatik, karena memberikan informasi tentang kekuatan energi yang dipantulkan pada satu panjang gelombang. Sistem radar telah berhasil digunakan untuk pemetaan topografi dan beberapa pemetaan tutupan lahan, terutama ketika terjadi perbedaan besar dalam tekstur permukaan, seperti antara air dan tanah, atau hutan dan daerah yang baru saja ditebang habis. Sistem operasional termasuk ERS-1, yang dioperasikan oleh Badan Antariksa Eropa; JERS-1, oleh Badan Pengembangan Antariksa Nasional Jepang; dan sistem Radarsat, yang dikembangkan dan dikelola oleh Badan Antariksa Kanada.

6.3.10 Gambar Satelit di GIS

Gambar satelit memiliki dua kegunaan utama dalam GIS. Pertama, *gambar* satelit sering digunakan untuk membuat atau memperbarui layer data tutupan lahan. *Gambar* satelit sangat sesuai untuk klasifikasi tutupan lahan berdasarkan pengumpulan data yang seragam di wilayah yang luas. Kelas tutupan lahan sering kali berhubungan dengan kombinasi spesifik dari nilai pantulan spektral. Misalnya, hutan sering menunjukkan ciri khas spektral yang membedakannya dari kelas tutupan lahan lainnya. Klasifikasi *gambar* satelit melibatkan identifikasi pola reflektansi yang terkait dengan setiap kelas tutupan lahan, dan kemudian menerapkan pengetahuan ini untuk mengklasifikasikan semua area *gambar* satelit. Banyak teknik telah dikembangkan untuk memfasilitasi pemetaan tutupan lahan dengan menggunakan data satelit, serta teknik untuk menguji keakuratan klasifikasi dari data tutupan lahan tersebut. Klasifikasi regional dan seluruh negara bagian biasanya dilakukan, dan data ini

merupakan input utama dalam sejumlah perencanaan sumber daya dan analisis manajemen menggunakan GIS.

Gambar satelit juga digunakan untuk mendeteksi dan memantau perubahan. Luas dan intensitas bencana seperti banjir, kebakaran, atau kerusakan akibat badai dapat ditentukan dengan menggunakan *gambar* satelit. Urbanisasi, penebangan hutan, perubahan pertanian, atau perubahan lain dalam penggunaan atau kondisi lahan semuanya telah berhasil dipantau dan dianalisis berdasarkan data satelit. Deteksi perubahan sering kali melibatkan kombinasi gambar baru dengan tutupan lahan sebelumnya, infrastruktur, atau informasi lain dalam analisis spasial untuk menentukan tingkat kerusakan, untuk mengarahkan tanggapan yang tepat, dan untuk perencanaan jangka panjang.



Gambar 6.32 Udara atau Satelit : Mana yang Digunakan?

Kegunaan *gambar* satelit dan *gambar* udara sebagai sumber data untuk GIS seharusnya sudah jelas sekarang. Beberapa sumber sering tersedia atau berpotensi tersedia untuk wilayah studi tertentu. Pertanyaan yang jelas adalah "Yang mana yang harus saya gunakan?" Sejumlah faktor harus dipertimbangkan ketika memilih sumber gambar.

Pertama, data *gambar* harus memberikan resolusi spasial yang diperlukan. Daya pisah dari suatu sistem sebagian bergantung pada perbedaan warna antara dua objek yang berdekatan, tetapi resolusi umumnya ditentukan oleh objek kontras tinggi terkecil yang dapat dideteksi. Sistem satelit resolusi tinggi saat ini memiliki resolusi spasial efektif dari satu hingga beberapa meter. Gambar dari kamera pemetaan, jika diambil pada skala tertentu dan dengan film yang biasa digunakan, memiliki resolusi maksimum hingga beberapa sentimeter. Meskipun kesenjangan semakin menyempit karena sistem satelit resolusi tinggi digunakan, *gambar* udara saat ini dipilih dalam banyak analisis spasial yang memerlukan resolusi spasial tertinggi.

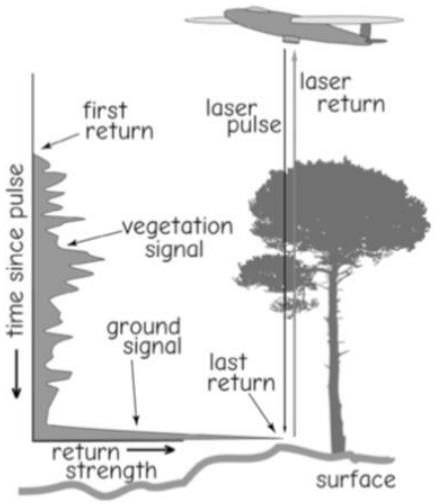
Kedua, area analisis harus dipertimbangkan. Gambar udara biasanya lebih murah untuk area kecil. Gambar udara skala besar sering tersedia dari sumber pemerintah dengan biaya rendah. Setiap foto mencakup dari puluhan hingga ratusan kilometer persegi, dengan biaya rendah

per kilometer persegi. Karena ukuran area studi meningkat, biaya penggunaan foto udara dapat meningkat. Mosaik multi-gambar seringkali dibutuhkan, meningkatkan biaya. Distorsi medan mungkin lebih besar karena geometri yang lebih buruk.

Satelit, karena tampilannya yang tinggi dan cakupan area yang lebih luas, cenderung tidak memerlukan pembuatan mosaik dan mungkin memiliki distorsi medan yang jauh lebih sedikit, yang penting untuk area yang lebih luas. Pemindai satelit dapat memberikan rentang spektrum yang lebih luas dan pita yang lebih sempit dibandingkan dengan gambar udara. Seperti disebutkan sebelumnya, pemindai satelit dapat mendeteksi jauh melampaui bagian yang terlihat dan inframerah dekat yang lebih umum pada pemindai udara. Jika fitur penting paling baik dideteksi menggunakan bagian spektrum ini, maka data satelit lebih disukai

6.4 LiDAR Lintas Udara

Sejumlah sistem deteksi cahaya dan jangkauan (LiDAR) berbasis laser menjadi umum. Laser diarahkan ke permukaan bumi dari platform udara atau satelit, pulsa sinar laser dipancarkan, dan energi yang dipantulkan direkam. Seperti radar, sistem laser aktif karena memberikan energi yang dirasakan. Tidak seperti radar, laser memiliki kemampuan terbatas untuk menembus awan, asap, atau kabut.



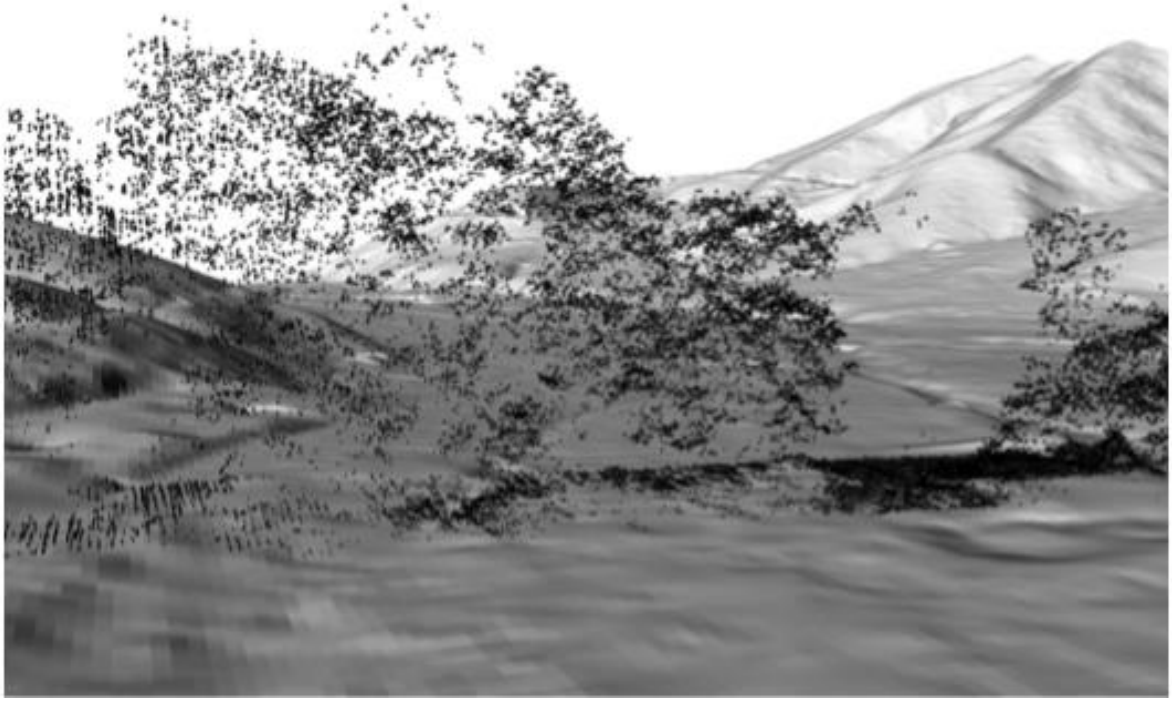
Gambar 6.33: Sistem pemetaan laser beroperasi dengan menghasilkan dan kemudian merasakan pulsa cahaya. Kekuatan balik digunakan untuk membedakan antara vegetasi dan tanah, dan waktu tempuh dapat digunakan untuk menentukan ketinggian.

Sistem LiDAR telah digunakan terutama untuk mengumpulkan data tentang topografi, vegetasi, dan kualitas air. Pulsa laser dipantulkan kembali dari kanopi dan tanah, dan kekuatan serta waktu pengembalian digunakan untuk memperkirakan tinggi tanah, tinggi kanopi, dan karakteristik kanopi lainnya. Sinyal LiDAR di atas air juga biasanya menghasilkan banyak pengembalian, termasuk ketinggian permukaan air dan dari berbagai kedalaman, sehingga laser dapat digunakan untuk mengukur kejernihan air dan kedalaman air dekat pantai.

Sistem pemetaan LiDAR komersial relatif baru dan telah digunakan terutama untuk mengumpulkan data permukaan dari pesawat dan satelit. Seperti disebutkan sebelumnya, survei LiDAR tiga dimensi dari tripod atau kendaraan darat sedang berkembang, tetapi kami tidak akan memperluasnya di sini.

Sistem pengumpulan LiDAR udara biasanya terdiri dari LiDAR yang mengarah ke bawah, GNSS presisi untuk merekam posisi pesawat hingga akurasi yang sangat tinggi, dan sistem penginderaan orientasi untuk mengukur sudut pulsa LiDAR relatif terhadap arah vertikal. Pulsa energi LiDAR diarahkan ke bawah. Sebagian energi dari setiap pulsa dipantulkan dari tumbuhan, bangunan, atau fitur lain di atas tanah, tetapi dalam kebanyakan kondisi, banyak sinyal mencapai tanah dan kembali ke platform laser udara. Interval waktu antara emisi pulsa laser dan pengembalian tanah dapat digunakan untuk menghitung ketinggian pesawat di atas medan. Ketinggian terbang diketahui dari GNSS dan ketinggian medan dihitung untuk setiap pulsa. Pulsa dapat dikirim beberapa ribu kali per detik, sehingga jejak ketinggian tanah dapat diukur dari setiap beberapa sentimeter hingga beberapa meter di sepanjang tanah.

LiDAR pengembalian diskrit adalah yang paling umum, di mana sistem mencatat nilai spesifik untuk setiap pulsa laser ke bawah. Biasanya pengembalian pertama dari pulsa, pengembalian terakhir, dan mungkin satu hingga beberapa pengembalian menengah dicatat. Bentuk gelombang LiDAR mengumpulkan catatan terus menerus dari pengembalian pulsa.



Gambar 6.34: Contoh cloud titik LiDAR, di sini petak melalui area hutan, ditampilkan di atas model medan. Setiap titik mewakili pengembalian LiDAR, menunjukkan pengembalian dari kanopi dan pohon yang lebih tinggi, cabang dan semak sub-kanopi, dan pengembalian tanah yang lebat di celah kanopi.

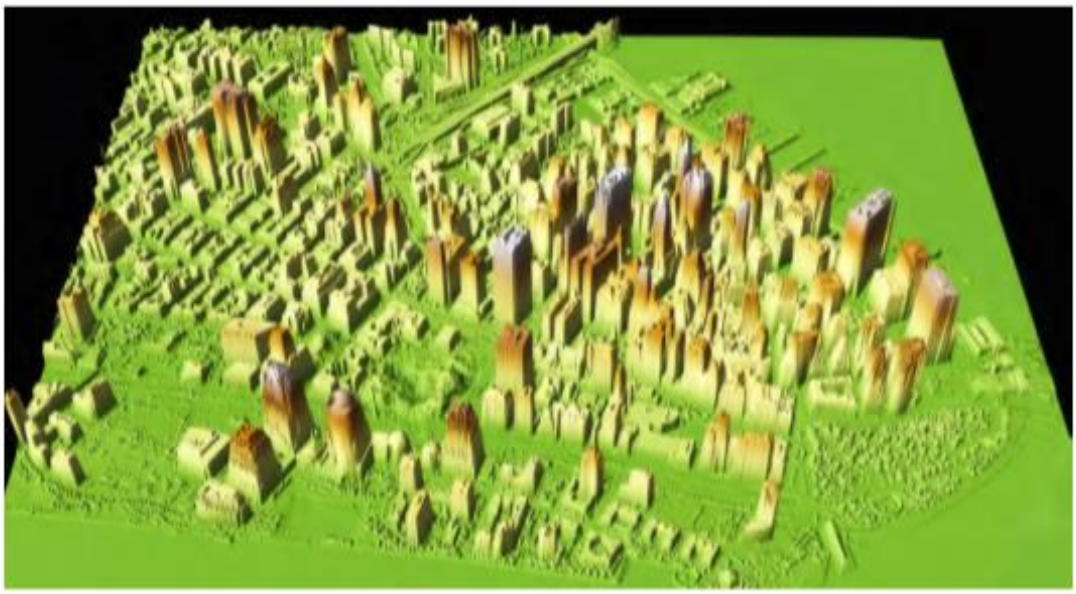
Sistem LiDAR pengembalian-diskrit menghasilkan awan titik, yang terdiri dari koordinat X, Y, dan Z, dan intensitas, sudut pindai, urutan balik, dan informasi lainnya. Sistem laser modern sering kali menghasilkan kerapatan beberapa hingga puluhan titik per meter persegi luas tanah, dan awan titik ini harus diproses untuk menghilangkan kesalahan, mengidentifikasi titik tanah, dan menetapkan titik ke tipe fitur seperti bangunan atau vegetasi. Perangkat lunak untuk pemrosesan utama telah dikembangkan oleh sebagian besar vendor, sehingga file dikirimkan dengan data koordinat dan ketinggian yang ditetapkan ke akurasi praktis tertinggi, dan poin diklasifikasikan dengan kode angka standar yang menunjukkan jenis fitur "dilanda,"

atau terkait dengan setiap pengembalian laser. Kode standar ini mengidentifikasi tanah (nilai = 2), bangunan (nilai = 6), atau air (nilai = 9). Beberapa karakteristik digunakan untuk mengklasifikasikan titik berdasarkan jenis fitur, termasuk kekuatan balik, urutan titik (pertama, terakhir, atau menengah), kemiringan atau tekstur lokal, dan lokasi dan kekuatan pengembalian yang berdekatan.

Gambar 6.35 : Pola pengambilan sampel LiDAR, setiap titik mewakili pengembalian lidar. Garis pindai tumpang tindih, menghasilkan distribusi pengembalian yang tidak merata pada skala yang sangat halus. Hasil biasanya diringkas untuk sel raster atau area yang menjangkau celah.

Ada semakin banyak proyek LiDAR di seluruh negara bagian, sering kali didorong oleh pemetaan dataran banjir atau untuk pengukuran topografi yang lebih baik. Resolusi tanah 10 cm (4 in.) atau lebih baik saat ini dimungkinkan jika LiDAR dikombinasikan dengan GNSS dan pengukuran orientasi pesawat yang presisi. Proyek-proyek ini melaporkan kepadatan titik "rata-rata", tetapi pengembalian LiDAR biasanya dikumpulkan dalam petak-petak di seluruh lanskap, dengan garis pemindaian individu yang dapat dilihat bila dilihat dalam skala besar. Proyek direncanakan dan diterbangkan sedemikian rupa sehingga terdapat jumlah tumpang tindih yang sesuai antara pemindaian yang berdekatan dan jalur penerbangan yang berdekatan, baik untuk menghindari celah dalam cakupan dan area dengan kepadatan pengambilan sampel yang sangat rendah.

Pemrosesan mengekstrak pengembalian yang paling relevan untuk produk yang diinginkan, misalnya, pengembalian pertama maksimum di area persegi tertentu dapat diekstraksi dan ditetapkan ke sel raster saat menghitung tinggi pohon, atau nilai rata-rata atau minimum saat mengekstraksi ketinggian tanah. Pemrosesan yang berbeda dari point cloud LiDAR akan menghasilkan nilai ekstraksi yang berbeda.



Gambar 6.36: Contoh LiDARdata dan penggambaran ketinggian bangunan. Gambar ini menunjukkan Manhattan, New York pada akhir tahun 2001. Bangunan tertinggi ditampilkan dalam warna putih, dan permukaan tanah dan air berwarna hijau (milik NASA).

Kesalahan horizontal dan vertikal kurang dari beberapa sentimeter dapat dicapai, memungkinkan penggunaan laser udara untuk mengukur ketinggian bangunan, lokasi dan luas dataran banjir, dan kemiringan serta karakteristik medan turunan, pada kepadatan dan akurasi yang jauh lebih tinggi, secara keseluruhan daerah, dari sebelumnya mungkin.

Data LiDAR juga telah banyak digunakan untuk memperkirakan karakteristik vegetasi, termasuk tinggi pohon, kerapatan hutan, jumlah kayu hutan, laju pertumbuhan, dan tipe hutan. Sejumlah besar titik mencapai tanah di semua kecuali hutan terpadat, dan pengembalian kanopi tanah vs. lokal tertinggi biasanya memberikan perkiraan tinggi pohon yang seakurat pengukuran manual tradisional. Proporsi pengembalian LiDAR sangat terkait dengan kerapatan kanopi, dan pohon serta massa kayu hutan. Bentuk mahkota dapat ditentukan dari data LiDAR yang padat, yang pada gilirannya membantu memisahkan jenis hutan.

Ada format LAS standar, yang dikelola oleh American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Standar tersebut mendefinisikan struktur file, konten, urutan penyimpanan, penamaan, kode, dan semua informasi lainnya sehingga setiap pengguna dapat mengakses, memproses, dan mendistribusikan data LiDAR dengan cara standar. Standar telah berkembang melalui berbagai versi, hingga 1.3 ketika edisi buku ini ditulis. Konvensi mendefinisikan file pertukaran LiDAR standar dengan ekstensi file .las, misalnya, mylidar.las.

Perhatikan juga bahwa ada format terkompresi yang bersaing, tidak standar, yang ditentukan oleh beberapa penyedia, misalnya, ESRI mendukung format LAS "dioptimalkan" mereka sendiri, dan rapidlasso juga telah menentukan format terkompresi. Keduanya tidak dijamin kompatibel dengan file ASPRS standar. Perhatian harus dilakukan saat menggunakan format file tidak standar, dan format minimal harus didefinisikan secara terbuka, dengan semua pengguna memiliki akses ke file dan spesifikasi penyimpanan, dan kemampuan untuk menulis kode independen untuk membaca dan menulis file.

6.4.1 Sumber Gambar

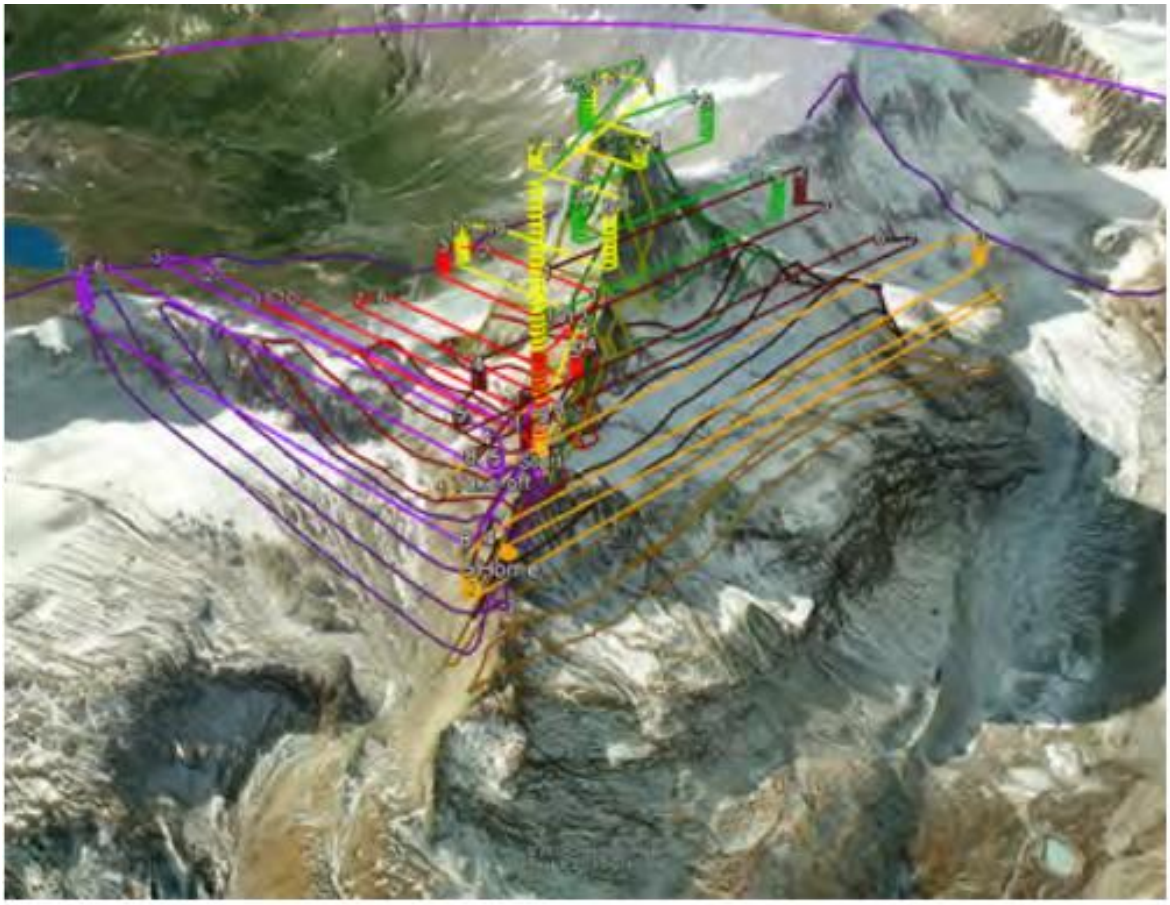
Pemerintah nasional, negara bagian, provinsi, atau lokal adalah sumber umum gambar udara. Foto-foto ini sering disediakan dengan biaya yang lebih rendah. Gambar biasanya dikumpulkan dalam warna sebenarnya, tetapi gambar inframerah berwarna juga dapat diperoleh, biasanya pada resolusi satu meter atau lebih baik. Foto-foto biasanya dikumpulkan pada pertengahan musim tanam. Program NAIP dikoordinasikan melalui USDA Farm Services Administration, sehingga gambar terkadang disebut sebagai foto FSA atau FSA-NAIP. Indeks online dan hardcopy tersedia untuk membantu mengidentifikasi mosaik gambar yang sesuai.

Gambar udara juga dapat dibeli dari lembaga pemerintah lain atau dari organisasi swasta. USGS dan U.S. Forest Service (USFS) secara rutin mengambil gambar udara untuk tujuan khusus. USFS menggunakan citra udara untuk memetakan tipe dan kondisi hutan, dan seringkali membutuhkan citra dengan resolusi spasial yang lebih tinggi dan waktu yang berbeda dalam setahun dari yang disediakan oleh NAIP. USGS menggunakan gambar udara dalam pengembangan ortofotografi dan peta digital. Organisasi-organisasi ini juga merupakan sumber gambar udara bersejarah yang sangat baik. Banyak instansi pemerintah berkontribusi pada arsip nasional gambar udara, yang dapat diakses di alamat internet yang tercantum dalam Lampiran B.

Gambar satelit dapat diperoleh dari berbagai sumber. Data Landsat saat ini tersedia melalui NASA dan USGS. SPOT, Ikonos, QuickBird, dan data sistem satelit lainnya dapat diperoleh langsung dari sumber pengelola, yang tercantum dalam Lampiran B.

6.4.2 Kendaraan Udara Tak Berawak Kecil: Drone

Gambar 6.37: The senseFly ebee, dan contoh UAV kecil / drone yang dioptimalkan untuk pengumpulan data spasial (milik senseFly Ltd.).



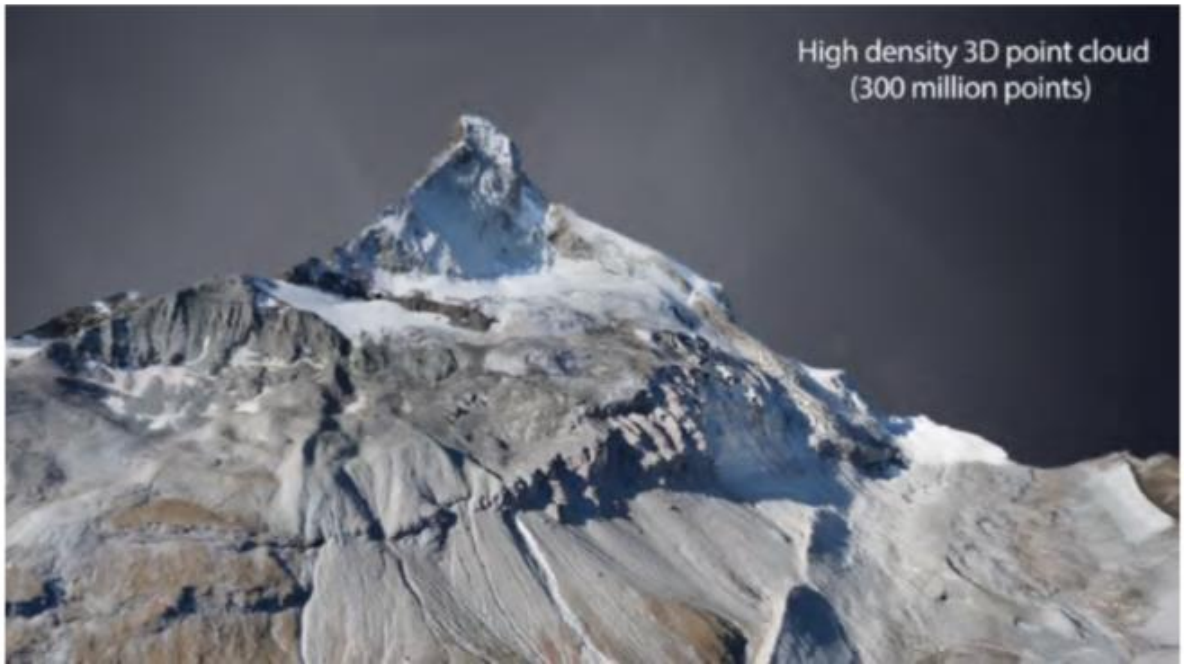
Gambar 6.38 : Sistem UAV untuk GIS biasanya menyertakan utilitas perencanaan penerbangan untuk menentukan tumpang tindih gambar yang memadai dan perkiraan posisi (milik senseFly Ltd.).

Pesawat dan helikopter kecil tanpa awak telah diperkenalkan selama dekade terakhir untuk mengumpulkan data GIS. Secara bervariasi disebut kendaraan udara tak berawak (UAV), kendaraan yang diujicobakan dari jarak jauh (RPV), atau hanya pesawat tak berawak, mereka dapat secara substansial mengurangi biaya dan meningkatkan fleksibilitas pengumpulan data. Data mungkin juga memerlukan waktu pemrosesan yang meningkat dan menunjukkan akurasi yang lebih bervariasi, mengingat jejak yang kecil dan kesulitan yang lebih besar untuk mempertahankan orientasi level di pesawat kecil ini. Namun, hampir semua deskripsi gambar dan sistem dan pemrosesan data LiDAR sebelumnya berlaku untuk data yang dikumpulkan dari drone karena mereka biasanya membawa versi kecil dari kamera, LiDAR, dan detektor lainnya.

Drone dapat dibawa ke suatu lokasi dan diluncurkan, seringkali dengan tangan untuk unit terkecil, menggunakan jalur penerbangan yang telah diprogram untuk mengumpulkan gambar di sepanjang jalur yang ditentukan. Hal ini memungkinkan pengumpulan data pada waktu dan tempat yang diinginkan, asalkan cuaca dan kondisinya tepat. Jendela pengumpulan data yang lebih kecil dapat digunakan, meningkatkan kemungkinan akuisisi data.

Resolusi data tinggi mungkin merupakan keuntungan lain dari UAV. Karena mereka mungkin diterbangkan pada ketinggian rendah, ukuran piksel beberapa sentimeter atau kurang

dimungkinkan. Balok jembatan individu, kipas atap, atau jalur dapat diselesaikan, yang mengarah ke data yang lebih rinci, dengan kepadatan titik yang sangat tinggi.



Gambar 6.39 : Kumpulan data tiga dimensi yang direkonstruksi untuk Matterhorn, di Swiss, dikumpulkan dengan UAV. Kepadatan titik dipilih, berdasarkan waktu yang tersedia dan area yang akan diambil sampelnya, dan tidak tetap, seperti pada banyak satelit dan dalam beberapa kasus sistem udara (milik senseFly Ltd.).

UAV yang lebih kecil memiliki tingkat pengumpulan datanya yang terbatas, dan kemungkinan besar tidak akan cocok untuk area yang jauh lebih besar dari beberapa kilometer persegi. Mereka terbang dengan kecepatan yang relatif rendah, dan biasanya membawa sistem kamera kecil dengan jejak gambar yang sepadan. UAV untuk pengumpulan data GIS memiliki rentang ukuran mulai dari lebar sayap kurang dari satu meter hingga beberapa puluh meter, dan ada trade-off, dengan meningkatnya biaya terkait dengan peningkatan throughput sistem. UAV yang lebih besar dapat mengumpulkan data dengan kecepatan yang mendekati sistem udara berawak saat ini, tetapi dengan demikian kehilangan banyak keuntungan biaya, fleksibilitas, dan resolusi.

Data spasial dari UAV kecil mungkin memiliki kualitas yang lebih bervariasi daripada dari platform aliran tradisional. Sistem kamera biasanya tidak terspesialisasi pada UAV, dengan distorsi lensa bulat dan lensa lainnya yang lebih besar, GNSS yang kurang akurat, dan karenanya berpotensi terjadi kesalahan pemosisian yang lebih besar, dan lebih bergantung pada operator atau analis yang kurang terlatih. Banyak dari keterbatasan potensial ini dapat diatasi dalam perangkat lunak yang dikembangkan dengan tepat, misalnya, korelasi gambar dan algoritma rekonstruksi 3D mungkin kuat dalam menemukan solusi yang tepat, dan menasihati analis ketika mereka tidak dapat mencapai akurasi yang dapat diterima. Lensa atau distorsi sistem lainnya dapat dihilangkan melalui kalibrasi yang tepat menggunakan pola uji standar, tetapi tindakan ini tidak dijamin untuk semua sistem UAV yang tersedia saat ini yang dipasarkan sebagai alat pengumpulan data spasial. Terserah konsumen data untuk memverifikasi keakuratan sistem apa pun yang diumumkan.

Akhirnya, ada ketidakpastian peraturan yang substansial mengenai operasi UAV. Mengingat bahwa jutaan UAV kemungkinan akan dikerahkan selama beberapa tahun ke depan, sebagian besar dilakukan oleh para penghobi, terdapat risiko nyata bagi penerbangan penumpang sipil. Ini, ditambah invasi yang dirasakan terkait masalah privasi, memungkinkan operasi UAV mungkin memerlukan lisensi atau menjadi dibatasi.

6.6 KESIMPULAN

Citra udara dan satelit merupakan sumber data spasial yang berharga. Foto dan gambar memberikan cakupan area yang luas, akurasi geometris, dan catatan permanen data spasial dan atribut, dan teknik telah dikembangkan dengan baik untuk digunakan sebagai sumber data.

Penginderaan jauh didasarkan pada perbedaan antara fitur dalam jumlah energi elektromagnetik yang dipantulkan. Sensor kimia atau elektronik mencatat jumlah energi yang dipantulkan dari benda. Perbedaan reflektansi adalah dasar untuk gambar, yang pada gilirannya dapat ditafsirkan untuk memberikan informasi tentang jenis dan lokasi fitur penting.

Gambar udara adalah sumber utama data koordinat dan atribut. Sistem pemetaan berbasis kamera dikembangkan dengan baik, dan merupakan dasar untuk sebagian besar peta topografi skala besar yang saat ini digunakan. Kemiringan kamera dan variasi medan dapat menyebabkan kesalahan besar pada gambar udara; namun, metode telah dikembangkan untuk menghilangkan kesalahan ini. Perpindahan gambar yang disebabkan medan adalah dasar untuk penentuan ketinggian stereofotografik.

Citra satelit tersedia dari berbagai sumber dan untuk sejumlah tujuan tertentu. Landsat, sistem penginderaan jauh darat pertama, telah beroperasi selama hampir 30 tahun, dan telah mendemonstrasikan kegunaan citra satelit. SPOT, AVHRR, Ikonos, dan sistem satelit lainnya telah dikembangkan yang menyediakan berbagai resolusi spasial, spektral, dan temporal.

Citra udara dan satelit seringkali harus diinterpretasikan untuk memberikan informasi spasial yang berguna. Gambar udara biasanya diinterpretasikan secara manual. Seorang analis mengidentifikasi fitur berdasarkan bentuk, ukuran, tekstur, lokasi, warna, dan kecerahannya, dan menggambar batas atau lokasi, baik pada hardcopy overlay, atau pada gambar yang dipindai. Citra satelit sering diinterpretasikan menggunakan metode otomatis atau semi otomatis. Klasifikasi adalah teknik interpretasi umum yang melibatkan spesifikasi spektral dan mungkin karakteristik spasial yang umum untuk setiap tipe fitur.

Pilihan foto atau citra satelit tergantung pada kebutuhan dan anggaran pengguna. Gambar udara sering kali memberikan lebih banyak detail, lebih murah, dan mudah serta murah diinterpretasikan untuk area kecil. Citra satelit mencakup area yang luas dengan cara yang seragam, dan merasakan energi pada rentang panjang gelombang yang lebih luas.

Data LiDAR menjadi sumber data spasial yang tersebar luas. Diskrit-return LiDAR lazim, menyediakan koordinat X, Y, dan Z untuk pengembalian fitur tanah dan di atas tanah. Sebagian besar model elevasi digital resolusi tinggi baru didasarkan pada data LiDAR, dan fitur bangunan dan hutan secara rutin diekstraksi dari LiDAR. Akuisisi di seluruh negara bagian menjadi umum, dan resolusi sistem serta frekuensi pengumpulan cenderung meningkat seiring waktu.

Kendaraan udara tak berawak (UAV), juga dikenal sebagai drone, menunjukkan janji sebagai alat pengumpulan data spasial. Biaya yang lebih rendah, peningkatan fleksibilitas, dan detail yang lebih tinggi harus dipertimbangkan terhadap batasan dalam throughput dan karenanya area yang dicitrakan, variabilitas dalam keakuratan, dan ketidakpastian peraturan

6.7 Soal Latihan

1. Jelaskan beberapa atribut positif dari gambar sebagai sumber data?
2. Apa spektrum elektromagnetik, dan apa daerah panjang gelombang utama?
3. Tentukan kurva reflektansi spektral. Gambarkan kurva khas untuk vegetasi dan tanah melalui bagian spektrum yang terlihat dan inframerah.
4. Menjelaskan struktur dan sifat sensor digital pada kamera udara digital.
5. Apa saja komponen dasar kamera yang digunakan untuk mengambil foto udara?
6. Jelaskan format kamera yang paling umum digunakan untuk fotografi udara, dan keunggulan relatifnya.
7. Apa sumber utama distorsi geometrik pada citra udara, dan mengapa? Apa yang lain, biasanya kecil, sumber distorsi geometrik pada gambar udara?
8. Berapa besaran kesalahan geometris yang khas pada gambar udara yang tidak dikoreksi? Bagaimana ini bisa dikurangi?
9. Jelaskan cakupan fotografi stereo, dan mengapa ini berguna.
10. Apa itu paralaks, dan mengapa itu berguna?
11. Jelaskan proses dasar penghapusan distorsi medan.
12. Mengapa bangunan miring ke arah yang berbeda pada gambar di bawah?

13. Apa itu interpretasi foto, dan apa karakteristik fotografi utama yang digunakan selama interpretasi?
14. Bagaimana perbedaan gambar dari pemindai satelit dengan foto? Bagaimana mereka mirip?
15. Jelaskan dan kontraskan sistem pencitraan satelit Landsat ETM +, SPOT HRV, Pleiades, dan Worldview-1.
16. Apa itu LiDAR? Jenis informasi apa yang dapat dihasilkan LiDAR?
17. Apa tiga kriteria yang digunakan dalam memilih jenis citra untuk pengembangan data spasial?

6.7 DAFTAR PUSTAKA

Atkinson, P., Tate, N. (1999). Advances in Remote Sensing and GIS Analysis. New York: Wiley.

Avery, T. E. (1973). Interpretation of Aerial Photographs. Minneapolis: Burgess.

Benoit, B., Ultre-Guerard, P. (2014). The NCES Earth observation program. Geosciences and Remote Sensing Magazine, 3:41–50.

Broderick, D.E., Frey, K.E., Rogan, J., Alexander, H.D., Zimov, N.S. (2015). Estimating upper soil horizon carbon stocks in a permafrost watershed of Northeast Siberia by integrating field measurements with Landsat-5 TM and Worldview-2 satellite data. GIScience & Remote Sensing, 52:131–157.

Bolstad, P.V. (1992). Geometric errors in natural resource GIS data: the effects of tilt and terrain on aerial photographs. Forest Science, 38:367–380.

Brock, J.C., Purkis, S.J. (2009). The emerging role of Lidar remote sensing in coastal research and resource management. Journal of Coastal Research, 53:1–5.

Campbell, J. B. (2006). Introduction to Remote Sensing. (4th ed.). New York: Guilford.

Dial, G., Bowen, H., Gerlach, F., Grodecki, J., Oleszczuk, R. (2003). IKONOS satellite, imagery, and products. Remote Sensing of Environment, 14:23–36.

Ehlers, M. (1991). Multisensor image fusion techniques in remote sensing. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 46:19–30.

Elachi, C. (1987). Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing. New York: Wiley.

Fernandez-Diaz, J.C., Glennie, C.L., Carter, W.E., Shrestha, R.L., Sartori, M.P, Singhania, A., Overstreet, B.T. (2013). Early results of simultaneous terrain and shallow water bathymetry mapping sing a single-wavelength airborne LiDAR sensor. Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing, 7:623–635.

Fickas, K.C., Cohen, W.B., Yang, Z. (2015). Landsat-based monitoring of annual wetland change in the Willamette Valley of Oregon, USA from 1972 to 2012. Wetlands Ecology and Management, DOI 10.1007/s11273-015-9452-0.

Gillin, C.P., Cody, P., Bailey, S.W., McGuire, K.J., Prisley, S.P. (2015). Evaluation of Lidar-derived DEMs through terrain analysis and field comparison. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 81:387–396.

Goetz, S.J., Wright, R.K., Smith, A.J., Zinecker, E., Schaub, E. (2003). IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analysis in the mid-Atlantic region. Remote Sensing of Environment, 8:195–208.

Hodgson, M.E., Bresnahan, P. (2004). Accuracy of airborne LiDAR-derived elevation: Empirical assessment and error budget. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70:331–339.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J. (2007). Remote Sensing and Image Interpretation, (6th ed.). New York.: Wiley.

Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Parker, G.G., Harding, D.J. (2002). LiDAR remote sensing for ecosystem studies. Bioscience, 52:19–30.

Mora, B., Tsendbazar, N.E., Herold, M., Arino, O. (2014). Global land cover mapping: Current status and future trends. Remote Sensing and Digital Image Processing, 18:11–30.

Nelson, R., Holben, B. (1986). Identifying deforestation in Brazil using multiresolution satellite data, International Journal of Remote Sensing, 1986, 7:429–448.

Olmanson, L.G., Brezonik, P.L., M.E. Bauer. (2014). Geospatial and temporal analysis of a 20-year record of Landsat-based water clarity in Minnesota's 10,000 lakes. Journal of the American Water Resources Association, 50:748–761.

Pflugmacher, D., Cohen, W.B, Kennedy, R.E., Yang, Z. (2014). Using Landsatderived disturbance and recovery history and lidar to map forest biomass dynamics. Remote Sensing of Environment, 151:124–137.

Richards, J.A., Jia, X. (2005). Remote Sensing Digital Image Analysis. New York: Springer.

Ryan, R., Baldbridge, B., Schowengerdt, R.A., Choi, T., Helder, D.L., Blonski, S. (2003). IKONOS spatial resolution and image interpretability characterization. Remote Sensing of Environment, 16:37–52.

Schowengerdt, R.A. (2006). Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing (3rd ed.). New York: Academic Press.

Tigges, J., Lakes, T., Hostert, P. (2013). Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal RapidEye satellite data. Remote Sensing of Environment, 136:66– 75.

Warner, W. (1990). Accuracy and small-format surveys: The influence of scale and object definition on photo measurements. ITC Journal, 1:24–28.

Woodcock, C.E., Strahler, A.H. (1987). The factor of scale in remote sensing. Remote Sensing of Environment, 21:311–332.

Wolf, P.R., DeWit, B. (2000). Elements of Photogrammetry with Applications of GIS. New York: McGraw-Hill.

Yang, C., Everitt, J.H., Bradford, J.M. (2006). Comparison of QuickBird satellite imagery and airborne imagery for mapping grain sorghum yield. Precision Agriculture, 7:33–44.

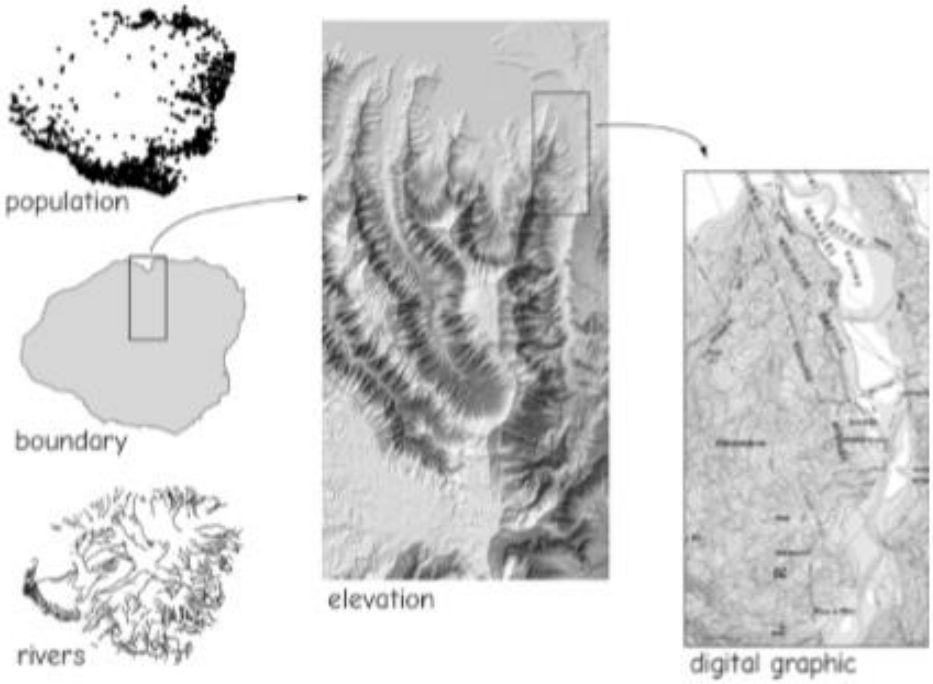
Yan, L., Roy, D.P. (2014). Automated crop field extraction from multi-temporal Web enabled Landsat data. Remote Sensing of Environment, 144:42–64.

BAB 7
DATA DIGITAL

Pendahuluan

Banyak data spasial yang ada saat ini dalam bentuk digital. Jalan, batas politik, badan air, tutupan lahan, tanah, ketinggian, dan sejumlah fitur lainnya telah dipetakan dan diubah menjadi data spasial digital untuk sebagian besar dunia. Karena data ini sering didistribusikan dengan biaya rendah atau tanpa biaya, data digital yang ada ini seringkali merupakan sumber termudah, tercepat, dan paling murah untuk banyak data spasial.

Data semakin dikumpulkan dalam format digital. GNSS, pengukuran laser, dan pemindai satelit semuanya menyediakan data primer dalam bentuk digital. Mereka secara langsung dapat ditransfer ke perangkat digital dan sistem GIS lainnya, di mana mereka dapat diproses lebih lanjut. Pengumpulan digital langsung menghilangkan transfer data ke media fisik yang dapat dilihat seperti peta atau daftar tertulis, dan kemudian mengubah media ini menjadi bentuk digital.



Gambar 7.1: Contoh data digital gratis yang tersedia dalam berbagai tema, luasan, dan skala. Data grafik digital vektor (kiri), raster (tengah), dan georeferensi (kanan) ditampilkan untuk Kauai, Hawaii, AS.

Ada banyak perbedaan antara WMS, WFS, dan WCS, tetapi secara garis besar, WMS adalah untuk menyajikan data kartografi untuk memproduksi dan menampilkan peta, sementara WFS (vektor) dan WCS (terutama raster) mengirimkan data dan metadata dengan cara yang memudahkan spasial pemrosesan dan analisis. Rincian perbedaannya ada pada spesifikasi layanan yang oleh konsorsium Open Geospatial, http://www.opengeospatial.org/docs/ Sebagian besar data melalui layanan saat ini disediakan sebagai WMS, dengan sedikit sistem

yang mendukung dan menggunakan fungsi pengeditan/analisis yang tersedia melalui WFS dan WCS.

Layanan web memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan data yang disimpan pada hard disk lokal. Layanan web menghemat ruang pada hard drive lokal, dan hanya sebagian yang menarik dari kumpulan data besar yang perlu diakses. Komunitas pengguna dapat berbagi data, misalnya, data pemerintah yang digunakan secara luas, dan informasi terbaru yang diberikan kepada sejumlah besar pengguna. Banyak jenis data yang berbeda dapat digabungkan bersama dengan lebih mudah, karena mengakses layanan Web biasanya memerlukan beberapa klik mouse. Namun, Anda mungkin sering tidak memanipulasi, atau mengubah data WMS dengan cara apa pun yang substansial, dan beberapa jenis analisis mungkin tidak didukung atau diizinkan. Dalam kasus ini, salinan data lokal biasanya diperlukan, atau WFS atau WCS dikembangkan. Layanan peta mungkin juga memerlukan koneksi internet yang cepat dan andal, terutama untuk data gambar beresolusi tinggi atau kumpulan data raster besar lainnya.

7.2 Daftar Pustaka

Broome, F.R., Meixler, D.B. (1990). The TIGER database structure. Cartography and Geographic Information Systems, 17:39–47.

Carter, J.R. (1988). Digital representations of topographic surfaces. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54:1577–1580.

Decker, D. (2001). GIS Data Sources. New York: Wiley.

Di Luzio, M., Arnold, J.G., Srinivasan, R. (2004). Integration of SSURGO maps and soil parameters within a geographic information system and nonpoint source pollution model system. Journal of Soil and Water Conservation, 59:123–133.

Duncan, D.T., Aldstadt, J., Whalen, J., Melly, S.J., Gortmaker, S.L. (2011). Validation of the Walk Score for estimating neighborhood walkability: an analysis of four U.S. metropolitan areas. International Journal of Environmental Research in Public Health, 8:4160– 4179.

Gesch, D., Oimoen, M., Greenlee, S., Nelson, C., Steuck, M., Tyler, D. (2002). The national elevation dataset. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68:5–11.

Goodchild, M F., Anselin, L., Deichmann, U. (1993). A framework for the areal interpolation of socioeconomic data. Environment and Planning, 25:383–397

Gorokhovich, Y., Voustianiaouk, A. (2006). Accuracy assessment of the processed SRTMbased elevation data by CGIAR using field data from USA and Thailand and its relation to the terrain characteristics. Remote Sensing of Environment, 104:409–415.

Harvey, F., Leung, Y. (Eds.) (2015). Advancies in Spatial Data Handling and Analysis. Berlin: Springer.

Horner, C., Huang, C., Yang, L., Wylie, B., Coan, M. (2004). Development of a 2001 national landcover database for the United States. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70:829–840.

Di Luzio, M., Arnold, J.G., Srinivasan, R. (2004). Integration of SSURGO maps and soil parameters within a geographic information system and nonpoint source pollution model system. Journal of Soil and Water Conservation, 59:123–133.

Lytle, D.J., Bliss, N.B., Waltman, S.W. (1996). Interpreting the State Soil Geographic Database (STATSGO).

Goodchild, M.F., Steyaert, L.T., Parks, B.O., Johnston, C., Maidment, D., Crane, M., Glendinning, S. (Eds.). GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues. Fort Collins: GIS World.

Marx R.W. (1986). The TIGER system: automating the geographic structure of the United States Census. Government Publications Review, 13:181–201.

Maune, D.F. (2007). Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User's Manual (2nd ed.). Bethesda: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

Openshaw, S., Taylor, P. (1979). A million or so correlation coefficients: Three experiments on the modifiable areal unit problem. N. Wrigle (Ed.). Statistical Applications in the Spatial Sciences. London: Pion.

Smith, B., Sandwell, D. (2003). Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data. Geophysical Research Letters, 30:1–20

Taylor, P.J., Johnston, R.J. (1979). Geography of Elections. Hammondsworth: Penguin.

Wilen, B.O., Bates, K.M. (1995). The US Fish and Wildlife Service's National Wetlands Inventory Project. Vegetatio, 118:153-169.

BAB 8
TABEL

8.1 Pendahuluan

Data digital dikembangkan oleh pemerintah karena data ini membantu menyediakan layanan publik dasar seperti keselamatan, kesehatan, transportasi, air, dan energi. Data spasial diperlukan untuk perencanaan dan pengelolaan bencana, pertahanan negara, pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur, dan fungsi pemerintahan lainnya. Banyak pemerintah nasional, regional, dan lokal telah menyadari bahwa begitu data ini diubah ke format digital untuk digunakan di dalam pemerintahan, data tersebut mungkin juga cukup berharga untuk digunakan di luar pemerintahan. Bisnis, nirlaba, pendidikan, dan ilmu pengetahuan, serta badan-badan pemerintah dapat mengambil manfaat dari data spasial digital, karena organisasi-organisasi ini sebelumnya diuntungkan dari peta kertas yang diproduksi pemerintah.

8.1.1 Layanan Map vs. Data yang Dapat Disimpan Secara Lokal

Kita harus membedakan antara data yang tersedia untuk transfer, penyimpanan, dan manipulasi di komputer lokal (locally storable), dari data yang tersedia sebagai layanan Web, termasuk Layanan Pemetaan Web (WMS), Layanan Fitur Web (WFS), dan Layanan Cakupan Web (WCS). Data digital pertama kali didistribusikan di media fisik, kemudian melalui internet, tetapi biasanya sebagai file elektronik yang disalin ke perangkat penyimpanan lokal untuk digunakan. Anda menyimpan salinan di perangkat Anda, dan memanipulasi data yang disimpan secara lokal itu. WMS menghilangkan kebutuhan akan salinan lokal.

Name	FIPS	Pop90	Area	PopDn
Whatcom	53073	128	2170	59
Skagit	53057	80	1765	45
Clallam	53009	56	1779	32
Snohomish	53061	466	2102	222
Island	53029	60	231	261
Jefferson	53031	20	1773	11
Kitsap	53035	190	391	485
King	53033	1507	2164	696
Mason	53045	38	904	42
Grays Harbor	53027	64	1917	33
Pierce	53053	586	1651	355
Thurston	53067	161	698	231
Pacific	53049	19	945	20
Lewis	53041	59	2479	24

Gambar 8.1 : Data dalam GIS mencakup komponen spasial (kiri) dan atribut (kanan).

Layanan Web adalah cara standar untuk menyajikan data geografis melalui internet. Perangkat lunak GIS mengakses data melalui koneksi internet, menampilkan data ini pada mesin lokal, meskipun data tersebut “dilayani” dari beberapa sistem komputasi jarak jauh. Data gambar paling sering disajikan, tetapi data vektor juga dapat disediakan, biasanya dalam bentuk latar belakang peta georeferensi. Data tidak berada di hard disk lokal, dan data dikirim sebagai respons terhadap setiap geser, zoom, atau perubahan tampilan lainnya.

Kami telah menggambarkan bagaimana data spasial dalam GIS sering dibagi menjadi dua komponen, informasi koordinat yang menggambarkan geometri objek, dan informasi atribut yang menggambarkan properti nonspasial objek. Karena data nonspasial ini sering disajikan kepada pengguna dalam tabel, mereka sering disebut sebagai data tabular. Data tabular merangkum karakteristik nonspasial yang paling penting dari setiap objek kartografi, misalnya, tabel atribut yang menggambarkan kabupaten. Dalam contoh ini, atributnya mencakup nama daerah, kode Standar Pemrosesan Informasi Federal (FIPS), populasi, area, dan kepadatan penduduk.

Informasi atribut dalam GIS biasanya dimasukkan, dianalisis, dan dilaporkan menggunakan sistem manajemen database (DBMS), program komputer khusus untuk mengatur dan memanipulasi data. DBMS menyimpan properti dari objek geografis dan hubungan antar objek. Sebuah DBMS menggabungkan perangkat lunak untuk mengelola data tabular, termasuk untuk penyimpanan data yang efisien, pengambilan, pengindeksan, dan pelaporan. DBMS awalnya dikembangkan pada tahun 1960-an dan penyempurnaan sejak itu telah menghasilkan sistem yang kuat dan canggih yang digunakan oleh pemerintah, bisnis, dan organisasi lainnya. Seperangkat alat dan metode DBMS yang agak standar telah dikembangkan dan disediakan oleh banyak vendor.

Perhatikan bahwa istilah DBMS dan database terkadang digunakan secara bergantian. Dalam kebanyakan kasus ini tidak benar dan dalam semua kasus tidak tepat. DBMS adalah program komputer yang memungkinkan Anda bekerja dengan data. Database adalah kumpulan data yang terorganisir, sering dibuat atau dimanipulasi dengan bantuan DBMS. Database mungkin memiliki bentuk khusus yang ditentukan oleh DBMS, tetapi itu bukan sistemnya.

Siswa sering bergumul dengan database relasional pada awalnya, dan sering bertanya, “Mengapa repot-repot? Tidak bisakah kita menggunakan spreadsheet saja?” Lebih banyak orang yang akrab dengan formulir, program, dan manipulasi spreadsheet, dan tidak melihat nilai tambah saat mengadopsi DBMS. Sebuah contoh singkat dapat membantu.

name	surname	address	phone #	order #	item	qty	item	qty	item	qty	item	qty
Leo	Durocher	112 Beal St	5-1307	1	CR7	1						
Rudy	Valentini	1 Hispanola Dr	4-2706	2	F15	1						
Paul	Smith	99 Upstate Ln	0-0000	3	GTO	3	F15	1	B52	1	SR71	1
Adam	Smith	1 Wall St	1-2334	4	626	1						
Atom	Ant	685 Hanbar Rd	4-1222	5	B52	2	CR7	2				
William	Smith	202 Dinkytown	9-9199	6	F111	2						
Alice	Paul	5 Free St.	4-4178	7	SR71	1						
Paul	Smith	99 Upstate Ln	0-0000	8	F15	1						

Gambar 8.2: Contoh database, dalam format file datar.

Perhatikan file yang ditunjukkan pada Gambar diatas, yang mewakili pesanan bisnis. Setiap baris mencatat pembeli, nomor pesanan, dan barang yang dipesan. Spreadsheet biasanya menyajikan data seperti ini dalam satu "file datar" dengan dua dimensi, baris dan kolom. Karena pesanan mungkin berisi beberapa item, kami memerlukan beberapa kolom dengan salinan pasangan item/kuantitas. Misalnya, pesanan nomor lima oleh Atom Ant mencakup dua item, dua B52 dan dua CR7, sedangkan pesanan nomor tiga oleh Paul Smith memiliki

empat item, atau total 8 kolom untuk item. Pesanan yang lebih besar akan membutuhkan kolom tambahan.

Bentuk penyimpanan ini memiliki dua karakteristik. Pertama, kita harus membatasi jumlah item per pesanan (jarang merupakan hal yang baik untuk bisnis), atau tidak tahu berapa banyak kolom yang mungkin dimiliki database kita, yang akan memperumit pemrograman dan manajemen. Kedua, dan yang lebih penting, kita dapat dengan mudah membuat sebagian besar penyimpanan di database kita tidak berisi apa-apa. Kami mungkin memiliki ribuan pesanan dengan satu atau dua item. Namun, jika kami memiliki satu pesanan dengan 50 item, kami harus menambahkan kolom yang cukup untuk menampung 50 pasangan item/kuantitas, bahkan dalam pesanan dengan satu atau dua item. Seperti pesanan 1, 2, 4, 6, 7, dan 8 pada tabel di bawah ini, banyak sel akan kosong. Kita dapat dengan mudah memiliki database yang sebagian besar sel kosong. Memori komputer menjadi sangat murah, jadi Anda mungkin menganggap ini sebagai kerugian kecil. Namun, lebih banyak data berarti waktu pemrosesan yang lebih lama, sejauh database mungkin tidak berfungsi. Struktur file datar ini cacat, baik dalam penggunaan ruang yang tidak efisien dan pemrosesan yang lambat.

Ada kelemahan lain yang jelas dari struktur ini. Perhatikan bahwa ada dua pesanan dari Paul Smith, nomor pesanan 3 dan nomor pesanan 8. Ini berarti ada kumpulan informasi yang berlebihan untuk pelanggan yang sama. Kami memiliki alamat nama depan dan belakangnya, dan nomor telepon diulang di kedua pesanan. Ini membuang-buang ruang dan membuat pengeditan lebih rumit dan rawan kesalahan. Jika Paul Smith mengubah nomor teleponnya, kami harus menelusuri setiap baris di database kami dan mengubah setiap contoh pesanan yang berisi nomor telepon Paul Smith. Pengeditan yang sulit atau berlebihan adalah kerugian tambahan dari sistem file seperti spreadsheet.

Fungsi dan program dapat ditulis untuk mengatasi penggunaan ruang yang tidak efisien, pemrosesan yang lambat, dan kesulitan mengedit dalam spreadsheet atau format file datar lainnya. Program-program ini seringkali membutuhkan pengetahuan khusus tentang struktur spreadsheet, dan karenanya bergantung pada pengaturan dan jumlah kolom. Meskipun solusi ini memungkinkan, seringkali rumit dan membutuhkan pemeliharaan program yang substansial. Sistem manajemen database dikembangkan untuk mengatasi redudansi dan inefisiensi ini dengan menambahkan struktur ke file data dengan cara standar. Sementara spreadsheet dapat digunakan untuk pengumpulan data sederhana, DBMS lebih baik untuk sebagian besar aplikasi yang memproses data dalam jumlah besar.

DBMS memberikan keuntungan lain. Mereka memberikan kemandirian data, karakteristik yang berharga saat bekerja dengan kumpulan data besar. Independensi data memungkinkan kita untuk membuat perubahan dalam struktur database dengan cara yang transparan untuk penggunaan atau program apa pun. Ini berarti restrukturisasi database tidak memerlukan pengguna atau programmer untuk memodifikasi prosedur mereka. Sebelum independensi data meluas, organisasi sering menghabiskan banyak waktu dan uang untuk menulis ulang aplikasi dan melatih ulang pengguna dengan setiap perubahan struktur data. Independensi data menghindari hal ini.

DBMS juga dapat menyediakan beberapa tampilan pengguna. Pengguna yang berbeda mungkin memerlukan informasi yang berbeda dari database, atau informasi yang sama disampaikan dalam format atau pengaturan yang berbeda. Profil atau formulir dapat dikembangkan yang mengubah cara data disediakan untuk setiap program atau pengguna.

DBMS dapat memformat ulang data secara otomatis untuk memenuhi preferensi tampilan berbagai pengguna. DBMS menghilangkan kebutuhan untuk memiliki salinan data untuk setiap pengguna, dengan mengubah presentasi untuk memenuhi setiap kebutuhan spesifik.

Sebuah DBMS juga memungkinkan kontrol terpusat dan pemeliharaan data penting. Satu salinan data “standar” dapat dipertahankan dan diperbarui secara teratur dan diketahui. Data ini mungkin diberi stempel waktu atau dilengkapi dengan nomor versi untuk membantu manajemen. Data ini kemudian didistribusikan ke berbagai pengguna. Satu orang atau kelompok dapat ditugasi untuk memelihara mata uang, kualitas, dan kelengkapan data, dan dengan menyelesaikan kontradiksi atau perbedaan di antara berbagai versi database.

Mengadopsi DBMS mungkin membutuhkan biaya. Pelatihan khusus mungkin diperlukan untuk mengembangkan, menggunakan, dan memelihara database. Mendefinisikan komponen database dan hubungan di antara mereka mungkin merupakan tugas yang kompleks yang mungkin memerlukan spesialis. Penataan database untuk akses yang efisien atau membuat formulir yang disesuaikan seringkali membutuhkan upaya yang signifikan. Perangkat lunak itu sendiri mungkin cukup mahal, meskipun tersedia perangkat lunak manajemen database sumber terbuka yang gratis, stabil. Namun, bagi banyak pengguna, nilai DBMS dan pengembangan database jauh melebihi biaya ini.

8.1.2 Struktur Data Database

Esri mengembangkan model data Database karena alasan berikut:

- Untuk memanfaatkan peningkatan daya komputasi, penyimpanan data, dan sistem manajemen Database relasional modern (RDBMS/relational database management systems)
- Karena gagasan tentang cara menyimpan data geografis menjadi lebih baik
- Untuk "memayungi" berbagai bentuk penyimpanan data spasial: vektor, raster, dan, medan (tetapi bukan TIN, kecuali jika diubah menjadi medan)
- Untuk mengizinkan penggunaan "objek" yang menggambarkan entitas dunia nyata, baik dari segi deskripsi (yang mana masih dilakukan dengan atribut) dan perilaku

8.1.3 Software Database

Terlepas dari gagasan tentang Database—menyimpan semua geometri, sistem referensi spasial, atribut, dan aturan perilaku untuk data dalam satu sistem manajemen Database relasional—beberapa hal masih belum sederhana. Perangkat lunak Esri harus "bermitra" dengan RDBMS yang ada, sehingga konvensi untuk menangani data spasial harus sesuai dengan konvensi umum yang berbeda dari RDBMS ini. Untuk alasan ini dan alasan lainnya, ada dua ragam Database Esri untuk pengguna tunggal ArcGIS: Personal dan File. Untuk software Esri multiuser ada ArcSDE (Spatial Database Engine). (Multiuser ArcGIS memiliki versi Desktop, Workgroup, dan Enterprise.)

Personal Database: Ini bergantung pada Microsoft Access RDBMS. Dataset disimpan dalam file data, yang ukurannya dibatasi hingga 2GB. Ini adalah versi pertama Esri dalam menyimpan geometri dan atribut dalam satu sistem database. Ekstensi namanya adalah .mdb, singkatan dari "Microsoft database". Sementara Database pribadi memilliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan Database file (dibahas di bawah), namu tetap memiliki kelebihan. Jika

Anda berencana untuk tetap menggunakan sistem operasi Windows, dan ingin mencari serta bekerja dengan perangkat lunak ArcGIS yang menyimpan tabel atribut dengan Microsoft Access, database pribadi mungkin cukup memuaskan.

File Database: Kumpulan data disimpan dalam folder di sistem file. Setiap set data disimpan sebagai file yang dapat berukuran satu TB (Terabyte — kira-kira satu miliar byte, yang berarti lebih dari 300 juta halaman teks. Esri merekomendasikan jika Anda memulai dari awal, Anda harus menggunakan file Database dibanding Database pribadi. File disimpan dalam folder; nama folder memiliki ekstensi GDB. Ini tidak terbatas pada sistem operasi Windows, dan Anda dapat memilih dari beberapa RDBMS untuk menangani database.

Database personal dan file tidak memiliki kemampuan untuk mengikuti versi data secara otomatis, dan ada batasan yang dapat membatasi siapa saka yang dapat membuat perubahan ke database. Database personal biasanya lebih kecil, bekerja pada mesin yang kurang bertenaga, dan hanya ditujukan untuk beberapa pengguna saja dalam suatu kelompok kerja.

8.2 Teknologi Database ArcSDE

Teknologi Database ArcSDE ada di sistem Database file pengguna tunggal dan multipengguna. Database semacam itu disimpan dalam RDBMS komersial— saat ini ada pilihan Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2, IBM Informix, dan PostgreSQL. Database ini memiliki ukuran yang hampir tidak terbatas; Database ini mendukung banyak pengguna dan sesi pengeditan yang simultan. ArcSDE merupakan perangkat lunak yang diperlukan. Karena kebutuhan untuk memiliki RDBMS kepemilikan tambahan, kami tidak membahas Teknologi ArcSDE (SDE berarti "Single Data Engine/Mesin Data Spasial") lebih lanjut. Tetapi Anda harus tahu bahwa database itu ada dan mendukung GIS dalam organisasi besar dan/atau kompleks di mana beberapa hingga banyak orang mungkin dapat melihat dan mengedit database pada saat yang bersamaan.

Untuk perbandingan berbagai jenis Database, Anda dapat memeriksa file bantuan: gunakan tab pencarian untuk mencari jenis Database. Pastikan untuk memeriksa tautan ke “Types of geodatabase Jenis geodatabase”.

8.2.1 Geodatabase — Tata Letak di Komputer

Saya katakan sebelumnya bahwa GIS adalah perkawinan antara Database grafis (geo) dan Database atribut. Geodatabase masih menganut konsep ini. Saya juga mengatakan bahwa biasanya Database atribut bertempat di sistem manajemen Database relasional komersial (RDBMS) seperti yang disebutkan sebelumnya. Masalah barunya adalah bahwa keseluruhan hal — bagian geografis dan bagian atribut — disimpan dalam satu file RDBMS. Artinya, dari sudut pandang perangkat lunak, semua dataset geografis telah digulung dengan data atribut ke dalam satu file. Untuk Database ArcSDE, file ini mungkin terletak di salah satu dari beberapa sistem Database relasional komersial. Untuk menentukan RDBMS komersial mana yang digunakan oleh perangkat lunak Esri, lihat file bantuan untuk versi yang Anda gunakan.

Geodatabase pribadi ditempatkan menggunakan sistem Database Microsoft Access dengan ArcGIS 10. Perbedaan antara geodatabase file atau pribadi dan produk Esri yang lebih luas adalah termasuk kurangnya kemampuan untuk secara otomatis mengikuti versi data dan batasan siapa yang dapat membuat perubahan pada database. Selain itu, Database pengguna tunggal biasanya lebih kecil dan dijalankan pada mesin yang kurang bertenaga.

Dengan implementasi file tunggal GIS di geodatabase, mudah untuk menggunakan sistem operasi untuk memindahkan, menghapus, atau mengganti nama sesuatu; komponen akan tersembunyi dari pengguna, kecuali melalui ArcCatalog dan ArcMap.

8.2.2 Geodatabase — Konstruksi Logis

Di dalam setiap file geodatabase, terdapat kerangka kerja untuk hirarki elemen yang cukup kompleks. Anda telah memiliki pengalaman dengan hirarki ini sebelumnya, tetapi berikut ini ringkasannya, dengan sedikit informasi tambahan. Deskripsi ini didasarkan pada file geodatabase, yang berada di dalam folder. Geodatabase ArcSDE terlihat agak berbeda, tetapi hanya di level teratas.

Database dapat terdiri dari:

1. Berdiri Bebas, dan tidak selalu terkait:
    a. Kelas fitur, menyerupai kelas titik, garis, dan poligon yang telah Anda pelajari
    b. Raster dataset, yang mungkin mewakili permukaan (misalnya ketinggian), fenomena areal (misalnya, tutupan lahan), atau gambar (misalnya, ortofotokuad, map yang dipindai)
    c. Set data Triangulated irregular network/jaringan triangulasi yang tidak teratur (TIN)
    d. Tabel, yang disebut sebagai kelas objek, dan yang mungkin dicirikan juga dengan "perilaku", seperti yang akan dibahas nanti.
2. Set data fitur, yang konstituennya memiliki referensi geografis yang sama (datum, proyeksi, unit, dan sebagainya) dan yang terdiri dari:
    a. Semua elemen yang dikutip di poin (A)
    b. Kelas hubungan yang merupakan sekumpulan hubungan antara fitur dari dua kelas fitur
    c. Jaringan geometris yang terdiri dari
    d. Kelas fitur persimpangan
    e. Kelas fitur tepi.

Jaringan geometris berguna di berbagai bidang, seperti merutekan bus sekolah melalui jaringan jalan raya dan melacak sistem kelistrikan atau perpipaan. Meskipun saya berusaha untuk tidak membagi aplikasi GIS ke dalam beberapa kategori, Anda dapat menganggap bahwa masalah spasial yang melibatkan aliran entitas melalui saluran menjadi subkelas utama dari masalah GIS — membuat GIS menjadi perhatian utama bagi perusahaan utilitas. Jaringan geometris mendukung kegiatan semacam ini.

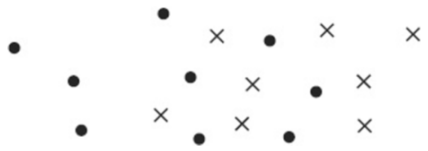
8.2.3 Geodatabase — Bentuk Fitur

Konsep bahwa baris dalam tabel berisi nilai atribut dari satu fitur masih tetap sama, tetapi geodatabase memungkinkan variasi yang besar mengenai apa yang merupakan fitur. Secara khusus, geodatabase memperbolehkan banyak titik, garis multibagian, dan banyak polygon.

8.2.4 Titik

Dalam menyimpan fitur titik, geodatabase memungkinkan “multipoin”. Multipoin adalah kumpulan titik yang dikaitkan hanya dengan satu baris dalam database, sehingga semua nilai atribut di baris tersebut berlaku untuk semua titik. Seorang ahli ekologi mungkin telah

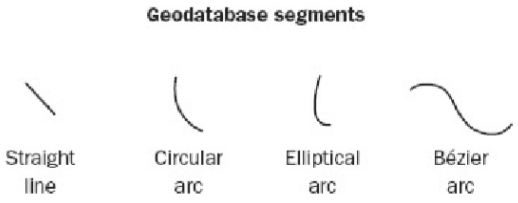
memetakan lubang gopher di suatu daerah. Satu-satunya pembeda yang tercatat lokasi. Jadi, data itu dapat disimpan bersama sebagai satu fitur. Lihat gambar ini yang menunjukkan dua fitur — satu fitur multipoin digambarkan dengan titik dan satu lagi ditunjukkan dengan x.



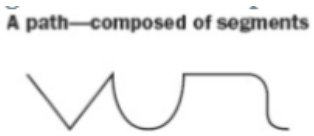
Gambar 8.3 Dua fitur multipoin: satu titik, dan yang lain x.

8.2.5 Garis

Fitur linier diwakili oleh polyline. Sebuah polyline terdiri dari satu jalur atau beberapa jalur. Jalur terdiri dari segmen yang terhubung secara berurutan yang mungkin berupa garis lurus, tetapi juga dapat berupa kurva geometris. Anda dapat menggunakan sebagian lingkaran atau elips (yang secara matematis merupakan plot persamaan orde kedua), atau Anda dapat menggunakan jenis spline, yang biasa disebut kurva Bézier orde ketiga. Jalur adalah rangkaian segmen, dan memiliki sisi kiri dan sisi kanan. Jika polyline adalah polyline banyak bagian, maka jalur yang menyusunnya mungkin terhubung, terputus-putus, atau beberapa berdiri masing-masing. Lihat gambar-gambar ini untuk memahami segmen, jalur, dan polyline.



Gambar 8.4 Jenis segmen geodatabase yang diperbolehkan



Gambar 8.5 Sebuah jalur dalam geodatabase terdiri dari segmen

Gambar 8.6 Sebuah polyline dapat terdiri dari satu atau lebih jalur

8.2.6 Poligon

Poligon geodatabase satu bagian, tanpa pulau poligon di dalamnya, cukup diapit oleh satu cincin. Sebuah cincin dapat dianggap sebagai satu jalur (lihat garis di atas) yang dimulai dan berakhir pada titik yang sama — yaitu, cincin adalah gambar tertutup. Karena cincin adalah gambar tertutup, perangkat lunak akan tahu apakah ada titik sembarang di dalam atau di luar poligon. Salah satu efek menggunakan entitas tunggal (cincin) yang lengkap untuk

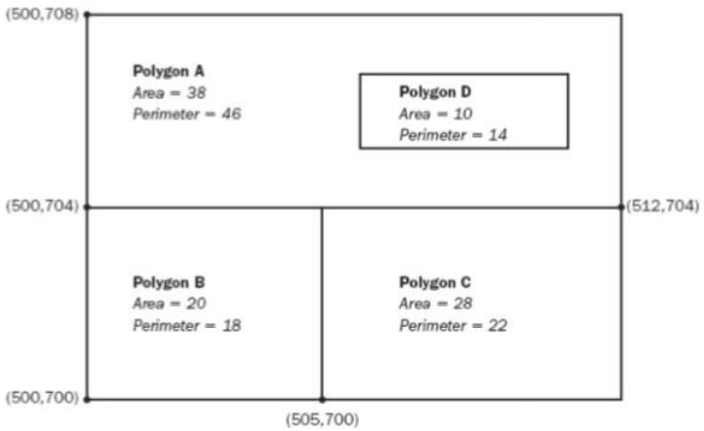
menggambarkan poligon adalah bahwa cincin dapat memisahkan poligon tertentu dari tetangganya. (Ini juga berarti bahwa, untuk representasi poligon pemisah tradisional — tetapi berdekatan — seperti bidang kepemilikan, setiap simpul dan garis disimpan dua kali.) Jadi, topologi cakupan tradisional, yang berguna untuk memastikan bahwa tidak ada celah atau tumpang tindih antara poligon, tidak diperlukan lagi. Topologi semacam ini telah digantikan oleh serangkaian pemeriksaan topologi yang jauh lebih umum yang dapat dimunculkan oleh pengguna untuk memastikan integritas data.

Sebuah "poligon" geodatabase bisa disebut sebagai poligon banyak bagian. Mungkin ini terdiri dari satu set dua atau lebih poligon. Poligon satu bagian atau banyak bagian mungkin memiliki poligon lain yang bersarang di dalamnya. Jadi, istilah "poligon" mencakup banyak kondisi. Silakan lihat ilustrasi pada gambar ini.

Gambar 8.7 Konfigurasi lain dari "poligon" yang terdiri dari beberapa area tertutup

8.2.7 Poligon Bersarang di Geodatabase

Penting untuk melihat perhitungan luas bidang (Shape_Area) dan perimeter (Shape_Length) untuk poligon geodatabase bersarang. Perhatikan gambar yang memiliki poligon pulau D yang memiliki dimensi 2 ali 5 unit. Pastikan Anda memahami perhitungan luas dan keliling poligon A, terutama yang berkaitan dengan Shape_Area dan Shape_Length.



Gambar 8.8 Diagram topologi sederhana dalam bentuk geodatabase

8.2.8 Geodatabase dan Atribut

Kita mengatakan bahwa GIS adalah perkawinan database geografis dengan database atribut. Dalam geodatabase, setiap baris dalam database atribut mengacu pada "objek" yang merupakan fitur titik, garis, atau poligon.

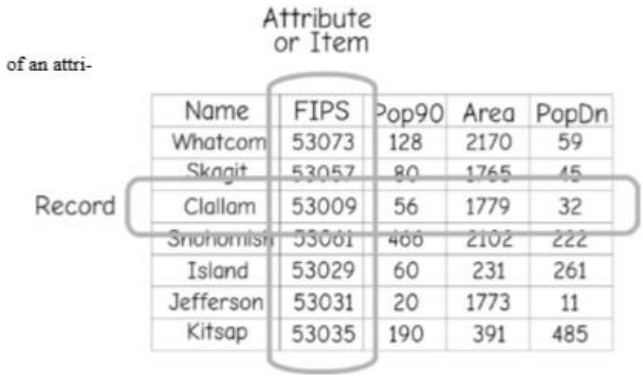
Salah satu indikasi kematangan bidang GIS adalah perkembangannya menekankan pada kebenaran dan integritas data atribut. Semua Database besar, spasial dan sebaliknya, mengandung kesalahan. Dengan geodatabase, kemampuan bawaan banyak meningkatkan kualitas data. Misalnya, Anda sedang membangun Database jalan raya di daerah Anda. Salah satu atribut dalam Database adalah bahan pembuatan jalan. Mungkin Anda tahu bahwa bahan yang diperbolehkan hanyalah beton, aspal, makadam, dan kerikil. Dengan geodatabase Anda dapat mengizinkan petugas entri data untuk hanya memilih di antara empat ini. Pertama, hal ini membuat entri data lebih cepat. Kedua, hal ini menghindari kemungkinan bahwa seseorang akan mengetik "asfault", bukan "aspal". Beton, aspal, makadam, dan kerikil merupakan domain untuk fitur jalan. Anda juga dapat menetapkan nilai default untuk jalan raya. Jika tidak ada nilai lain yang dimasukkan, nilai atribut secara otomatis akan disetel ke "konkret".

8.2.9 Subtipe

Geodatabase semakin maju dalam mempromosikan integritas data. Dalam jenis fitur, misalnya jalan raya, Anda dapat menentukan subtipe jalan. Mungkin badan perencanaan Anda telah menggolongkan semua jalan sebagai jalan bebas hambatan, besar, atau kecil. Anda dapat menyiapkan Database sehingga "beton" menjadi material default untuk jalan raya, "aspal" untuk jalan utama, dan "makadam" untuk jalan kecil. Anda juga dapat mengatur domain untuk jalan kecil sehingga jumlah jalur hanya bisa satu atau dua. Subtipe pada dasarnya adalah atribut fitur yang mendapat perhatian khusus dari perangkat lunak.

8.2.10 Komponen dan Karakteristik Database

Komponen dasar dari database tradisional adalah item data atau atribut, unit data bernama yang tidak dapat dibagi. Item ini dapat berupa pengidentifikasi, ukuran, area, koordinat, warna, atau karakteristik lain yang sesuai yang digunakan untuk menggambarkan fitur yang menarik. Atribut mungkin sederhana, misalnya, satu kata atau angka, atau mungkin majemuk, misalnya, item data alamat yang terdiri dari nomor rumah, nama jalan, kota, dan kode pos.



Name	FIPS	Pop90	Area	PopDn
Whatcom	53073	128	2170	59
Skagit	53057	80	1765	45
Clallam	53009	56	1779	32
Snohomish	53061	466	2102	222
Island	53029	60	231	261
Jefferson	53031	20	1773	11
Kitsap	53035	190	391	485

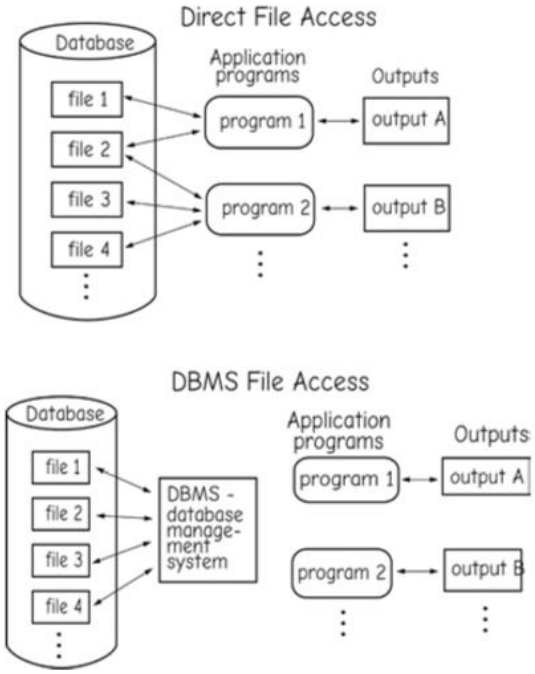
Gambar 8.9 : Komponen sebuah atribut data tabel

Item memiliki jenis dan domain yang membatasi nilai yang dapat diambil. Jenis menentukan karakteristik penting dari suatu item. Jenis umum termasuk bilangan real, bilangan bulat, baik dari berbagai panjang, bilangan heksadesimal, bidang teks, hyperlink, dan objek besar biner (gumpalan). Domain menentukan nilai yang dapat diterima yang dapat diambil suatu item, misalnya, bilangan bulat mungkin dibatasi lebih besar dari 0 tetapi lebih kecil dari 10, atau

mungkin ada nama jenis "warna" yang hanya dapat mengambil nilai "merah", "hijau ", “biru”, “kuning”, “sian”, atau “magenta”.

Kumpulan item data terkait yang diperlakukan sebagai unit mewakili entitas. Dalam GIS, entitas database biasanya jalan, kabupaten, danau, atau jenis fitur geografis lainnya. Entitas tertentu, seperti county tertentu, adalah turunan dari entitas tersebut. Entitas didefinisikan oleh satu set atribut dan data geografis terkait. Dalam contoh gambar diatas, atribut yang menggambarkan sebuah county meliputi nama, kode FIPS, populasi tahun 1990 dalam ribuan orang, area, dan kepadatan penduduk. Item data terkait ini sering diatur sebagai baris atau baris dalam tabel, yang disebut record. Sebuah file kemudian dapat berisi kumpulan catatan, dan sekelompok file dapat mendefinisikan database. Sistem database tertentu sering mendefinisikan istilah yang berbeda untuk masing-masing bagian ini. Misalnya, dalam model database relasional, catatan dapat disebut baris atau n-tupel, dan catatan biasanya diatur ke dalam tabel relasional.

Anda harus mencatat bahwa konsep entitas, ketika dirujuk dalam database, mungkin sedikit berbeda dari entitas dalam model data GIS. Perbedaan ini berasal dari dua kelompok yang berbeda, ahli geografi dan ilmuwan komputer, menggunakan kata untuk konsep yang berbeda tetapi terkait. Entitas dalam model data geografis sering digunakan untuk item atau fenomena dunia nyata yang kami coba wakili dengan objek kartografi. Entitas ini biasanya merupakan fenomena fisik, misalnya, danau, kota, atau bangunan, tetapi mereka juga dapat menjadi fenomena konseptual, seperti batas properti. Sebaliknya, ilmuwan komputer dan manajer database sering mendefinisikan entitas sebagai objek data utama tentang informasi yang akan dikumpulkan. Dalam literatur DBMS, entitas adalah objek data yang menunjukkan benda fisik, dan bukan benda itu sendiri. Dengan demikian properti entitas dan hubungan antar entitas mengacu pada struktur DBMS. Properti dan hubungan ini digunakan untuk mewakili fenomena dunia nyata. Ini adalah perbedaan terminologi yang halus, tetapi definisi yang berbeda ini dapat menyebabkan kebingungan kecuali perbedaan dalam arti dicatat.



Gambar 8.10: Akses file sistem manajemen langsung dan database (Aronoff, 1991).

Sebuah DBMS biasanya mendukung struktur yang kompleks, terutama untuk menyediakan keamanan data, untuk menjaga stabilitas, dan untuk memungkinkan beberapa pengguna atau program untuk mengakses data yang sama secara bersamaan. Pengguna database sering meminta akses bersama, yaitu, beberapa pengguna atau program dapat diizinkan untuk membuka, melihat, atau memodifikasi kumpulan data secara bersamaan. Namun, jika setiap program atau pengguna memiliki akses file langsung, maka beberapa salinan database dapat dibuka untuk dimodifikasi pada saat yang sama (Gambar bagian atas). Beberapa pengguna mungkin mencoba menulis ke file data secara bersamaan, dengan hasil yang tidak terduga. Data yang disimpan mungkin yang terbaru, pembaruan pertama, atau campuran di antaranya. Karena bahaya ini dengan akses file langsung, DBMS dapat dirancang untuk mengelola akses multipengguna (Gambar bagian bawah). Beberapa DBMS mengelola file dan data bersama, dan menerapkan prioritas yang telah ditentukan sebelumnya dalam file yang diakses secara bersamaan. DBMS dapat bertindak sebagai perantara antara file dan program aplikasi atau pengguna. DBMS dapat mencegah kesalahan karena akses simultan. Program DBMS lainnya tidak mengelola akses simultan, dan pengguna sistem tersebut umumnya harus menghindari membuka banyak salinan database pada satu waktu.

DBMS kadang-kadang disebut sebagai server database, dan program aplikasi sebagai klien. Server menyediakan atau "menyajikan" data ke aplikasi klien. Klien dapat dibangun oleh vendor DBMS, ditulis oleh pengguna DBMS, atau dijual sebagai add-on oleh pengembang perangkat lunak pihak ketiga. Klien ini dapat beroperasi pada komputer yang sama dengan perangkat lunak server DBMS, atau mereka dapat memberikan permintaan dari mesin jarak jauh melalui koneksi jaringan. Sebuah server tunggal dapat dikonfigurasi untuk menanggapi banyak program klien yang berjalan pada mesin yang terpisah.

Gambar 8.11 : Arsitektur multitier, dan alternatif perangkat lunak umum. Data disimpan dan diakses dari database di tingkat bawah, dan permintaan yang dilihat data dibuat di tingkat atas. Server aplikasi bertindak atas permintaan dan menerjemahkan/memproses informasi

yang diteruskan antara tingkat atas dan bawah. Dalam sistem berperilaku baik yang mematuhi standar yang ditentukan, komponen dapat dicampur, misalnya, Anda dapat mengakses data di ArcSDE dari QGIS, atau data yang disimpan di PostGIS dari ArcMap (diadaptasi dari Boundless).

Pemisahan data dan fungsi menjadi beberapa level sering disebut sebagai arsitektur multi-tier. Data terutama disimpan di tingkat terendah. Data ini mungkin beragam jenisnya, termasuk data koordinat, atribut, teks, gambar, suara, rekaman video, atau data penting dan persisten lainnya.

Kumpulan data pada tingkat terendah dapat dikelola oleh sistem database individual. Sistem atau program yang mengakses tier pertama, di bagian bawah sistem multitier sering disebut manajer transaksi. Manajer transaksi ini biasanya menerima permintaan dari tingkat yang lebih tinggi dan mencari bagian database yang relevan untuk mengidentifikasi data yang diminta, atau melakukan operasi yang diminta.

Tier berikutnya dalam arsitektur multitier sering disebut sebagai server aplikasi. Penggunaan istilah server mungkin sedikit membingungkan, karena server juga digunakan untuk menggambarkan komputer tempat penyimpanan data, dan juga untuk menggambarkan program manajemen database dalam sistem dua tingkat. Dalam konteks arsitektur database multi-tier, server aplikasi adalah perangkat lunak yang meneruskan permintaan dari tingkat yang lebih tinggi ke manajer transaksi. Ini mengubah input dari atas menjadi satu set instruksi yang dapat "dipahami" oleh manajer transaksi di bawah. Satu permintaan dari tingkat yang lebih tinggi mungkin memerlukan server aplikasi untuk menanyakan beberapa database. Misalnya, agen real estat mungkin ingin mengidentifikasi semua rumah dalam kisaran harga tertentu, di distrik sekolah yang bagus, dan dekat stasiun angkutan cepat untuk calon pembeli. Server aplikasi dapat menghasilkan tiga permintaan berbeda—satu untuk mengidentifikasi rumah dalam kisaran harga, yang kedua untuk mengidentifikasi distrik sekolah yang baik, dan yang ketiga untuk menemukan stasiun angkutan cepat. Server aplikasi kemudian dapat melakukan operasi untuk menentukan di mana kriteria penting ini terpenuhi: untuk mengidentifikasi kumpulan rumah yang berada dalam kisaran harga tertentu, untuk mempersempit pencarian dengan yang hanya berada di distrik sekolah yang baik, untuk menemukan jarak untuk masing-masing rumah ke stasiun angkutan cepat terdekat, dan untuk mengidentifikasi stasiun berdasarkan nama dan karakteristik stasiun.

Selain meneruskan permintaan ke tingkat yang lebih rendah, server aplikasi juga dapat melakukan tugas lain. Misalnya, mungkin menentukan apakah agen real estat memiliki izin yang tepat untuk mengakses data perumahan. Selain itu, server aplikasi dapat memeriksa apakah agen memiliki profil, dan menangani permintaan dengan cara tertentu.

Tingkat paling atas dari arsitektur multitier biasanya adalah antarmuka pengguna. Tingkat ini dapat berupa tampilan oleh program tujuan tunggal atau topik tertentu seperti GIS, atau antarmuka berbasis Web dengan tujuan utama mengumpulkan permintaan dari pengguna, dan menyajikan informasi kembali kepada pengguna berdasarkan permintaan tersebut.

Arsitektur multitier diadopsi terutama untuk melindungi antarmuka pengguna dari pemrosesan dan data di tingkat yang lebih rendah, dan untuk memungkinkan akses ke rentang data yang lebih beragam melalui tingkat terendah. Bagian-bagian lebih mudah diubah ketika diisolasi, dan sumber daya baru yang berbeda mungkin lebih mudah diintegrasikan. Jika

sebuah perusahaan memutuskan untuk mendesain ulang antarmuka entri data mereka, mereka dapat melakukannya dengan mudah jika antarmuka pengguna berbeda dari tingkatan di bawah ini. Mereka tidak perlu khawatir tentang bagaimana server aplikasi atau manajer transaksi beroperasi. Integrasi teknologi database baru seringkali lebih mudah dengan arsitektur multi-tier. Misalnya, tipe data atau program baru dapat dimasukkan ke dalam sistem dengan menambahkan data baru ke database dan memodifikasi manajer transaksi di tingkat terendah, tanpa memodifikasi server aplikasi atau antarmuka pengguna di tingkat di atas.

Arsitektur multitier pada dasarnya lebih kompleks dan bervariasi daripada arsitektur twotier. Misalnya, implementasi arsitektur multi-tier yang berbeda dapat membagi operasi secara berbeda di antara tingkatan. Dalam contoh real estat kami di atas, satu arsitektur dapat menggabungkan semua kueri database dan operasi pemrosesan ke dalam manajer transaksi. Arsitektur multi-tier lain dapat melakukan kueri dengan manajer transaksi, dan melakukan operasi spasial (rumah di distrik sekolah yang bagus, dan rumah yang bagus di dekat stasiun transit) di tingkat server aplikasi. Tidak ada arsitektur yang secara universal lebih baik; melainkan, sebuah organisasi harus mengadopsi arsitektur yang paling sesuai dengan kebutuhannya.

Akses multi-pengguna menambahkan overhead dan kompleksitas yang substansial ke pemrosesan. Misalnya, server harus memastikan bahwa ketika beberapa salinan database diakses, perubahan pada database harus direkonsiliasi pada pengiriman ulang. Jika dua klien yang berbeda telah mengubah variabel yang berbeda dalam database, kedua set perubahan ini harus diintegrasikan ketika database disimpan. Jika pembaruan dari dua klien bertentangan, seperti saat satu klien menghapus catatan sementara klien kedua mengubah nilai untuk catatan yang sama, program harus menyelesaikan perbedaan; mungkin satu pengguna memiliki prioritas lebih tinggi, perubahan terbaru diberlakukan, atau pesan dikirim ke operator yang mencatat ambiguitas.

8.2.11 Penginderaan jauh

Penginderaan jauh mungkin dilakukan dengan memanfaatkan foto yang diambil dari balon pada tahun 1840-an. Sistem otomatis pertama (tidak membutuhkan manusia untuk membawa sensor) baru dilakukan pada tahun 1890-an di Eropa ketika kamera yang diprogram untuk mengambil gambar pada interval waktu diikatkan pada burung merpati!

Evelyn Pruitt mungkin memperkenalkan penggunaan modern dari istilah "penginderaan jauh" pada pertengahan 1950-an ketika dia bekerja sebagai ahli geografi/ahli kelautan untuk US Office of Naval Research (ONR)/Kantor Riset Angkatan Laut AS. Penginderaan jauh menggunakan instrumen atau sensor untuk menangkap karakteristik spektral dan hubungan spasial objek dan bahan yang dapat diamati dari kejauhan, biasanya dari atasnya. Menggunakan definisi itu, semua yang kita amati dirasakan dari jarak jauh. Lebih praktis, sesuatu dirasakan dari jarak jauh ketika tidak memungkinkan atau tidak nyaman untuk didekati.

Kita dapat mengkategorikan penginderaan jauh untuk GIS dengan berbagai cara. Data dapat diambil dari "platform" pesawat atau satelit. Energi yang "dilihat" oleh sensor dapat berasal dari objek atau area yang diperiksa sebagai akibat radiasi yang memancar darinya (yang disebabkan oleh matahari atau sumber panas atau cahaya lain) atau dari radiasi yang

dipantulkan oleh sumber energi yang terkait dengan sensor (misalnya, radar atau lidar). Gambar yang dihasilkan dapat dikembangkan pada film atau diproduksi oleh sensor digital. Satelit dalam orbit geosynchronous dapat berada di satu tempat di atas ekuator. Satelit yang berada di orbit dekat kutub dapat melihat berbagai area di bumi saat berotasi.

8.2.12 Struktur Konseptual, Fisikal dan Logikal

Sebuah database dapat dipandang memiliki struktur konseptual, logis, dan fisik. Struktur ini mendefinisikan entitas dan hubungan mereka dan menentukan bagaimana file data atau tabel terkait satu sama lain.

Struktur konseptual sering direpresentasikan dalam skema. Skema secara ringkas menggambarkan struktur database dalam notasi singkatan standar, biasanya melalui diagram hubungan entitas, juga dikenal sebagai diagram ER. Kami tidak akan menjelaskan diagram ER atau metode konseptual lainnya di sini, karena lebih sesuai untuk kursus yang lebih maju.

Skema adalah representasi grafis kompak dari model konseptual, entitas, dan hubungan di antara mereka. Hubungan mungkin satu-ke-satu, antara satu entitas dan yang lain, katakanlah dari baris yang mewakili pesanan pembelian dalam tabel database ke baris yang mewakili pelanggan di tabel lain. Koneksi antar tabel mungkin satu-ke-satu, dari satu pelanggan ke satu pesanan, atau satu-ke-banyak, dari satu pelanggan ke beberapa pesanan. Hubungan ini dapat direpresentasikan pada gambar dengan garis yang menghubungkan entitas.

Koneksi sebenarnya dalam file komputer dapat dicapai dengan banyak cara. Salah satu metode umum menggunakan penunjuk file untuk menghubungkan catatan dalam satu file dengan yang ada di file lain. Sebagian besar struktur ini dirancang untuk mempercepat akses, membantu pembaruan, dan menyediakan integritas data. Penataan ini merupakan bagian dari desain fisik database. Desain biasanya berusaha untuk secara fisik mengelompokkan atau menghubungkan data yang digunakan bersama dalam proses sehingga proses ini dapat dilakukan dengan cepat dan efisien.

8.2.13 Database Relasional

Database relasional telah berkembang menjadi desain database yang paling umum sejak diperkenalkan pada tahun 1968. Ada beberapa alasan mengapa database relasional digunakan secara luas.

Model relasional lebih fleksibel daripada kebanyakan desain lainnya. Struktur tabel tidak membatasi pemrosesan atau kueri, dan organisasinya mudah dipahami, dipelajari, dan diterapkan relatif terhadap desain database lainnya. Dapat menampung berbagai macam tipe data, dan tidak perlu mengetahui terlebih dahulu jenis query, sorting, dan searching yang akan dilakukan pada database.

Tabel dalam desain database relasional juga disebut relasi, ditunjukkan untuk hutan dan data rekreasi terkait pada gambar dibawah ini. Entitas diwakili oleh baris dalam tabel.

Forests

Forest Name	Forest-ID	Location	Size
Nantahala	1	N. Carolina	184,447
Cherokee	2	N. Carolina	92,271

Trails

Trail Name	Forest-ID
Bryson's Knob	1
Slickrock Falls	2
North Fork	1
Cade's Cove	1
Cade's Cove	2
Appalachian	1
Appalachian	2

Characteristics

Trail Name	Feature	Difficulty
Bryson's Knob	Vista	E,M
Bryson's Knob	Ogrth	E,M
Slickrock Falls	Ogrth	M
Slickrock Falls	Wfall	M
North Fork	-	M
Cade's Cove	Ogrth	E
Cade's Cove	Wlife	E
Appalachian	Wfall	M,D
Appalachian	Ogrth	M,D
Appalachian	Vista	M,D
Appalachian	Wlife	M,D
Appalachian	Cmp	M,D

Recreational features

Feature	Description	Activity 1	Activity 2
Wfall	Waterfall	Photography	Swimming
Ogrth	Old-Growth Forest	Photography	Hiking
Vista	Scenic Overlook	Photography	Viewing
Wlife	Wildlife Viewing	Photography	Birding
Cmp	Camping	Camping	-

Gambar 8.12: Data hutan dalam struktur database relasional.

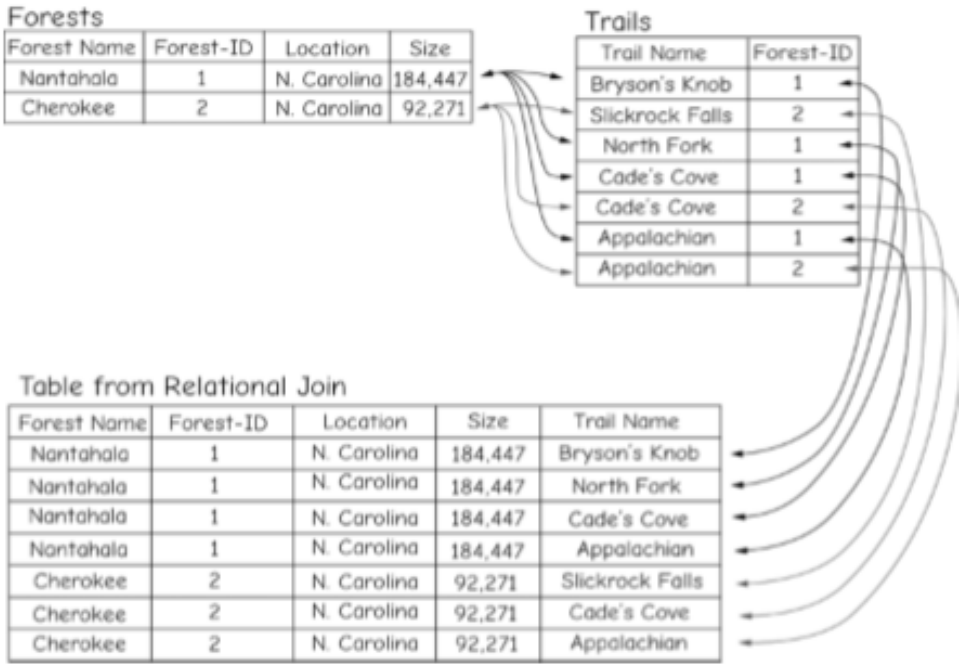
Dalam contoh data hutan kami, mungkin ada tabel hutan dengan baris untuk setiap hutan, dan tabel lain yang mewakili jalur, fitur jalur, dan peluang rekreasi. Baris juga disebut catatan atau tupel. Seperti disebutkan sebelumnya, kolom berisi atribut, atau item, yang menggambarkan entitas.

Tabel terkait melalui kunci, satu atau lebih kolom yang memenuhi persyaratan tertentu dan dapat digunakan untuk mengindeks baris. Kunci sering kali merupakan kolom yang secara unik mengidentifikasi setiap baris dalam tabel. Kami sering menetapkan nomor atau kode unik untuk menjadi kunci. Tidak ada dua orang yang memiliki nomor Jaminan Sosial valid yang sama, sehingga kami dapat menggunakan nomor tersebut untuk menghubungkan deretan informasi ke orang tertentu.

Kunci digunakan untuk menggabungkan data dari satu tabel ke data terkait di tabel lain . Kunci adalah "kunci" untuk utilitas dan fleksibilitas database relasional. Mereka memungkinkan kita untuk mencampur dan mencocokkan data dari berbagai tabel; untuk menampilkan data secara berbeda untuk proyek atau audiens yang berbeda; untuk mengatur data kami dengan cara yang membantu kami lebih cepat mencari, memilih, dan memperbarui data kami; dan untuk mengisolasi data kami dari program pemanggilan atau perubahan pada perangkat keras komputer.

Gambar diatas menunjukkan gabungan (atau relasi) dari data forest dan trails kami dalam struktur data relasional, melalui kunci Forest-ID dalam tabel Forests. Ini menunjukkan bagaimana kunci memungkinkan kita untuk memecah data kita menjadi beberapa tabel dan menuai semua manfaat yang dijelaskan di atas, sambil menyediakan mekanisme untuk menghubungkan antar tabel. Perhatikan bahwa hubungan tabel terpisah ini biasanya transparan bagi pengguna akhir, karena semua atau subset data hutan dan jalur pada Gambar

diatas dapat ditampilkan di layar atau dicetak sebagai satu tabel bersambungan. Data dari tiga atau lebih tabel yang berbeda dalam DBMS sering digabungkan, dan subset kolom ditampilkan dalam apa yang tampak menjadi satu tabel ke pengguna. Gabungan dan kolom dapat diubah, tergantung pada pengguna.



Gambar 8.13: Data hutan dan jejak dalam struktur data relasional. Baris menyimpan catatan yang terkait dengan entitas, dan kolom menyimpan item. Sebuah kunci, di sini Forest-ID, digunakan untuk menggabungkan tabel.

Definisi umum dari database relasional mendefinisikan aljabar relasional. Aljabar relasional ini mengambil relasi (tabel) sebagai input dan mengembalikan relasi sebagai output. Aljabar menggabungkan atau membagi tabel, baik dengan baris atau kolom, untuk menghasilkan subset atau tabel yang diperluas. Aljabar relasional juga dapat digunakan untuk menentukan batasan, persyaratan, dan keamanan pada database.

Mengingat pentingnya mereka, ada beberapa batasan pada kunci. Misalnya, nilai null biasanya tidak diizinkan untuk menjadi bagian dari kunci. Mungkin ada banyak kunci potensial (kolom yang secara unik mengidentifikasi setiap baris), tetapi biasanya satu dipilih untuk digunakan, yang disebut kunci utama. Sebagian besar tabel dalam database akan memiliki kunci utama, dan kunci dalam tabel sering digunakan untuk menggabungkan tabel. Beberapa kunci digunakan untuk mengindeks dan menambah fleksibilitas dalam memilih data. Terlalu sedikit kunci dapat mengakibatkan kesulitan mencari atau menyortir database.

GIS sangat bergantung pada database teks dan angka. Hubungan antara informasi dan geografi seperti itu akan dibahas nanti dalam bab ini. Untuk saat ini, Anda hanya perlu mengetahui bagaimana kumpulan data teks dan angka disimpan.

Dalam pembahasan ini, database diartikan sebagai kumpulan simbol diskrit (angka, huruf, dan karakter khusus) yang terletak pada beberapa media fisik dengan setidaknya satu organisasi atau struktur pokok yang mendasarinya. Katalog kartu perpustakaan model lama adalah

contoh database dengan satu struktur dasar: daftar penulis berdasarkan abjad; medianya adalah 3 x 5 kartu indeks, dan datanya adalah simbol pada kartu yang menggambarkan buku dan lokasinya di perpustakaan. Sebagian besar perpustakaan telah menggantinya dengan katalog berbasis komputer dengan keuntungan bahwa pengguna tidak hanya dapat mencari dan menemukan penulis tetapi juga judul dan subjek, sehingga sejumlah tema pengorganisasian dapat mendukung database.

Contoh lain adalah "hard disk" yang mencatat jenis tanah yang paling umum ditemukan di areal tertentu di suatu daerah. Disk adalah media fisik, kode yang ditetapkan ke jenis tanah menyusun data tersebut, dan lokasi setiap hektar — sebagaimana dipahami dari posisi setiap datum pada disk — dapat menjadi struktur yang mendasarinya.

Tujuan umum database biasanya:

- Hasil dari beberapa jenis proyek; beberapa individu atau tim yang membangunnya — sering kali dengan banyak usaha.
- Perlu diperbarui (dimodifikasi dan dikoreksi seiring berjalannya waktu) jika ingin terus tetap berharga.
- Berisi kesalahan terlepas dari ukuran, perawatan konstruksi, kesederhanaan data, atau kualitas atau media fisik yang digunakan.
- Bersifat sebagai suatu fungsi saat digabungkan dengan beberapa proses. Fungsinya mungkin sesederhana menyediakan nomor telepon dari direktori telepon fisik (struktur — abjad berdasarkan nama; media — kertas berjilid murah; data— nomor telepon, dalam tipe yang sangat kecil; proses — mencari nama, menemukan nomor yang berdekatan). Fungsi yang disajikan oleh database mungkin juga cukup canggih — mendukung keputusan tata guna lahan yang luas, misalnya.

Banyak database digunakan untuk memecahkan masalah di semua tingkat pemerintahan. Akses ke database ini dicapai melalui penggunaan skema referensi. Berikut beberapa contohnya:

Skema Referensi	Contoh Data yang Tercantum
Nama orang	Gaji, Nomor Jaminan Sosial, riwayat kesehatan, catatan kriminal
Nomor plat mobil	Warna mobil, pemilik, nomor seri
Alamat jalan	Nilai rumah, ukuran lot
Judul pekerjaan	Orang yang dipekerjakan, tugas, gaji
Nomor transaksi kejadian	Uang diterima, dibayarkan, ditransfer, diinvestasikan
	Jadwal, perintah, kejahatan, kecelakaan

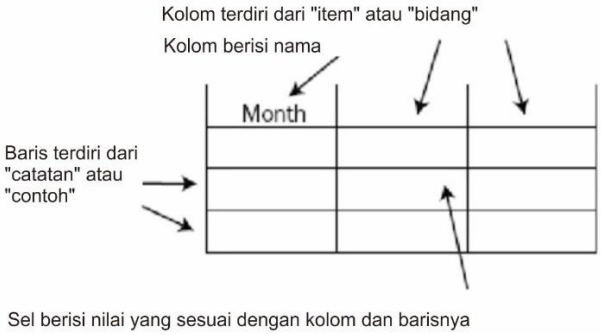
Banyak skema yang ada untuk menyajikan atau menyimpan data. Misalkan orang tua ingin mencari nama untuk anaknya yang baru lahir. Daftar nama potensial dalam urutan acak mungkin disediakan. Mungkin akan lebih berguna jika daftar itu dibagi menjadi nama anak perempuan dan nama anak laki-laki. Peningkatan lain dapat berupa menyusun daftar menurut abjad, atau menyajikannya dalam kaitannya dengan popularitas nama saat ini.

Sebagai contoh kedua, pertimbangkan bagaimana Anda dapat menyimpan nomor telepon yang terkait dengan nama dan alamat. Anda dapat memesan daftar menurut abjad, sehingga

Anda dapat dengan mudah menemukan nomor telepon, mengetahui namanya. Atau Anda dapat memesan daftar secara numerik dengan nomor telepon, sehingga Anda dapat menemukan nama jika diberi nomor.

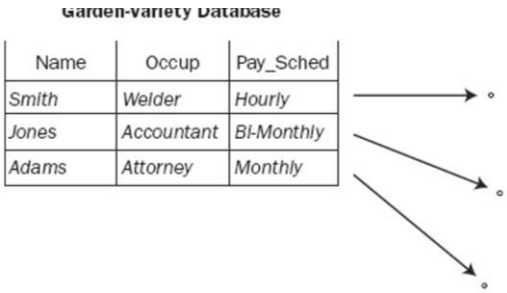
Jenis struktur data yang berbeda adalah "hierarki". Anda dapat menggunakan pendekatan ini untuk menyimpan nama dan posisi orang di perusahaan atau organisasi militer berdasarkan siapa yang melapor kepada siapa. Demikian juga Anda dapat menyimpan distrik pemungutan suara di dalam kabupaten dalam negara bagian. Dalam dunia komputer, pendekatan "direktori terstruktur" ini digunakan untuk mengatur folder dan file yang terdapat pada hard disk drive di komputer. Folder apa pun di disk dapat menyimpan folder dan file lain.

Ada banyak skema untuk menyimpan informasi dalam memori komputer atau perangkat sekundernya, seperti drive disk atau kaset. Metode utama yang digunakan untuk menyimpan informasi dalam jumlah besar disebut "database relasional", atau RDB (relational database), yang dikembangkan oleh E. F. Codd. Perangkat lunak ini digambarkan sebagai RDBMS (relational database management system/sistem manajemen Database relasional). Idenya sederhana: gunakan satu set tabel dua dimensi; untuk tabel tertentu ada format yang ditentukan di mana baris berhubungan dengan entitas (objek, orang, benda secara umum), sedangkan kolom berhubungan dengan atribut (karakteristik, properti) entitas. Perpotongan dari baris tertentu dan kolom tertentu adalah sel, berisi nilai, yang mendefinisikan atribut tertentu dari entitas tertentu. Lihat gambar.



Gambar8.14 Komponen tabel database relasional

Anda dapat menggunakan tabel database untuk menyimpan nama, pekerjaan, dan jadwal pembayaran karyawan, seperti pada gambar.



Gambar 8.15 Contoh sederhana dari tabel database relasional

Contoh lain berikut menunjukkan bagian dari database mobil yang terdaftar di negara bagian. Setiap baris mewakili satu mobil; setiap kolom akan mewakili satu properti mobil. Lihat gambar.

Mfgr	Num_Doors	VIN	Color	Weight
Porsche	*2*	*123XXX*	*Silver*	*2300*
Porsche	*2*	*887ABC*	*White*	*2100*
Toyota	*4*	*9880123*	*Grey*	*2350*
Honda	*4*	*456789*	*Blue*	*2999*

Gambar 8.16 Sebuah RDB mobil

Berikut beberapa terminologi: Struktur yang berisi entitas, baris, juga disebut tuple atau record. Struktur yang berisi atribut, kolom, disebut juga bidang atau item.

Semua sel dari kolom tertentu harus berisi jenis nilai yang sama. Beberapa yang umum adalah sebagai berikut:

- *Karakter* — Semua karakter ASCII yang valid dalam string dengan panjang hampir berapa pun.
- *Bilangan bulat pendek* — Dapat berkisar dari sedikit kurang dari –32.000 hingga sedikit lebih dari +32.000.
- *Bilangan bulat panjang* - Dapat berkisar dari negatif dua miliar hingga sedikit lebih dari positif dua miliar.
- *Bilangan floating-point* — Dapat memiliki eksponen sekecil 10^{-38} dan sebesar 10^{38}, dan Anda dapat yakin akan ketepatan enam digit signifikan.
- *Bilangan floating-point presisi ganda* — Dapat memiliki eksponen sekecil 10^{-308} dan sebesar 10^{308}, dan Anda dapat mengandalkan 16 digit signifikan.
- Boolean — Nilai yang benar atau salah.

8.2.14 Mendapatkan Informasi dari Relational Database: Kueri

Database relasional dirancang untuk memberi Anda informasi. Anda dapat memperoleh informasi dengan memilih subset catatan dari kumpulan total dengan menulis persamaan yang merupakan campuran dari nama atribut, operator aritmatika dan logika, serta nilai. Sebagai contoh mudahnya, misalkan penelitian menyatakan bahwa mobil abu-abu yang beratnya kurang dari 2.500 pon menempatkan penumpangnya dalam risiko lebih besar daripada rata-rata. Anda ingin memilih catatan tersebut dari database mobil di seluruh negara bagian. Pertama-tama Anda mungkin akan mendapatkan semua catatan mobil yang berwarna abu-abu.

SELECT: COLOR = 'Gray'

Diberikan subset itu, Anda kemudian dapat menulis

SELECT: WEIGHT < 2500

Dengan adanya sub-bagian dari catatan ini, Anda mungkin dapat menulis surat kepada pemilik mobil tersebut, membuat mereka sadar akan bahaya yang mereka hadapi.

Bahasa yang digunakan untuk mendapatkan subset catatan dapat memberikan fleksibilitas dan efisiensi. Misalnya, untuk melakukan kedua operasi sebelumnya dengan satu persamaan, Anda dapat menulis

SELECT: COLOR = 'Gray' AND WEIGHT < 2500

Anggap saja studi penelitian menunjukkan peningkatan bahaya bagi mereka yang menempati mobil yang dibuat pada tahun 1985 atau sebelumnya, terlepas dari warna atau beratnya. Anda bisa menambahkan ke pilihan sebelumnya dengan menuliskan

ADDSELECT: YEAR <= 1985

(ADDSELECT berarti menambah kumpulan catatan yang dipilih saat ini.)

Atau Anda dapat menggunakan satu kueri untuk memilih semua rekaman yang Anda inginkan sekaligus:

SELECT: (COLOR = 'Gray' AND WEIGHT < 2500) OR YEAR <=1985

Perhatikan penggunaan tanda kurung untuk menunjukkan urutan operasi yang dilakukan.

8.2.15 Ekonomi dalam Database Relasional

Secara teori, informasi dalam sistem database relasional dapat berada dalam satu tabel. Ini bukan kebijakan terbaik dan bahkan mungkin tidak bisa dilakukan. Database relasional biasanya terdiri dari sekumpulan tabel yang berhubungan satu sama lain — jadi, kata "relasional".

Setiap tabel database relasional harus berisi kolom yang memiliki pengenal unik untuk setiap catatan dalam tabel. Ini dikenal sebagai bidang kunci. Jika database relasional mereferensikan orang, kuncinya mungkin nomor Jaminan Sosial, nomor karyawan, atau nomor siswa. Dalam kasus mobil, kode kuncinya mungkin adalah nomor identifikasi kendaraan (VIN/vehicle identification number).

Untuk mengilustrasikan mengapa beberapa tabel dapat digunakan, anggaplah, dalam database relasional kita, adalah mungkin bagi satu orang untuk memiliki lebih dari satu mobil. Jika seluruh database ada dalam satu tabel, maka nama dan alamat setiap pemilik beberapa mobil harus diulang, yang meningkatkan jumlah penyimpanan yang diperlukan. Jika pemilik lebih dari 1 mobil mendapatkan alamat jalan baru, beberapa catatan dalam tabel database harus diubah. Lebih lanjut, beberapa data tentang pemilik mungkin terletak di database lain dan mungkin bersifat pribadi. Jawaban elegan untuk masalah ini adalah memiliki beberapa tabel yang berisi informasi, dibagi untuk meminimalkan pengulangan. Dalam contoh mobil, mungkin hanya nomor identifikasi pemilik yang disimpan dalam catatan mobil itu sendiri. Nomor ini bisa menjadi bidang kunci dalam tabel database yang berisi informasi tentang pemilik. Jika beberapa informasi pemilik bersifat pribadi, itu juga dapat disimpan dalam tabel terpisah, dengan bidang kunci yang sama. Database dapat diatur sehingga tabel ini tidak dapat diakses melalui tabel mobil.

Tabel database relasional yang memenuhi persyaratan efisiensi tertentu disebut bentuk normal pertama (1NF), bentuk normal kedua (2NF), dan seterusnya. Semakin tinggi angkanya, semakin efisien database.

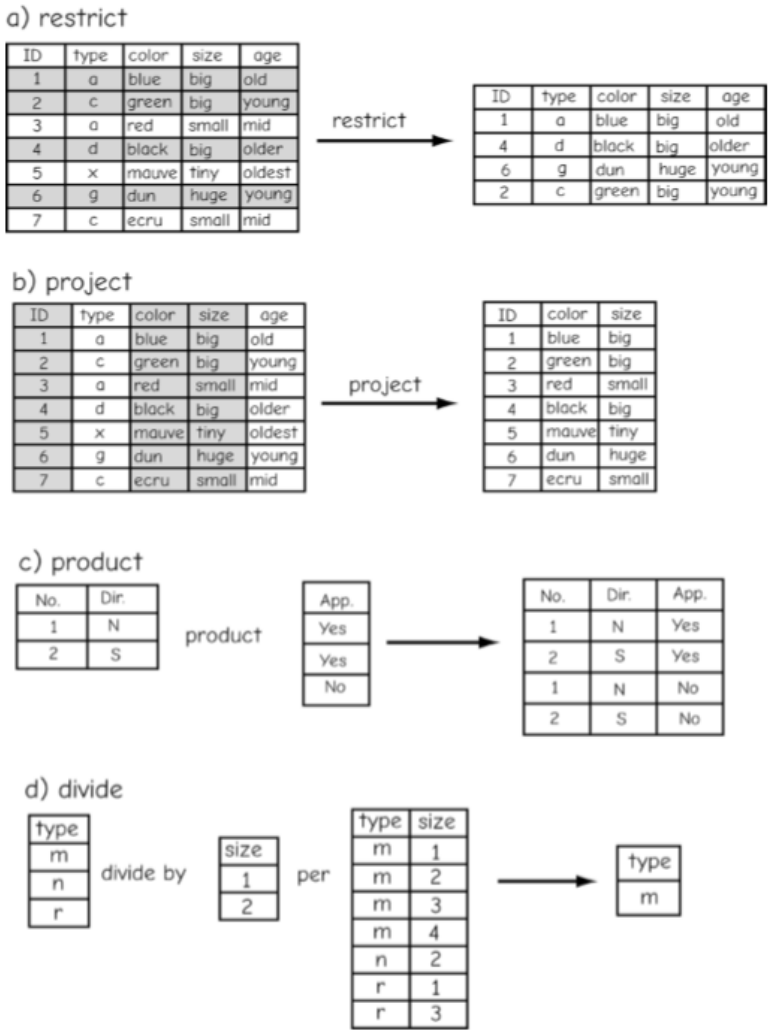
Singkatnya, akan berguna untuk mempartisi informasi dalam database relasional menjadi beberapa tabel. Partisi seperti itu dilakukan dengan cara

- Kurangi jumlah data redundan yang disimpan
- Perbarui database
- Kurangi kemungkinan inkonsistensi dan ketidakstabilan dalam database
- Lindungi data pribadi atau sensitif

Bahasa pemrograman telah dikembangkan untuk mengambil informasi dari database relasional. Salah satunya adalah Structured Query Language (SQL), yang dikembangkan oleh Institut Standar Nasional Amerika/American National Standards Institute (ANSI). Anda menggunakannya untuk menjalankan kueri dari database. Vendor sistem manajemen database relasional juga telah mengembangkan bahasa paten. Esri membuat antarmuka dengan sejumlah RDBMS dari berbagai sumber.

8.2.16 Operator Utama

Aljabar relasional mendukung delapan operator utama: batasi, proyek, gabungan, perpotongan, perbedaan, produk (semua kombinasi dari serangkaian variabel tertentu yang direkam dalam database), gabung (gabungkan tabel berdasarkan nilai atribut yang cocok), dan bagi (memfasilitasi kueri berdasarkan kondisi). Operasi ini diterapkan dalam kueri untuk memilih catatan dan item tertentu. Operasi ini digambarkan secara grafis pada Gambar dibawah ini.



Gambar 8.17 : Aljabar relasional seperti yang didefinisikan semula mendukung delapan operator. Empat yang pertama ditampilkan di sini: batasi, proyek, produk, dan divisi. Empat sisanya ditunjukkan pada gambar berikutnya (dimodifikasi dari C.J. Date, 2004).

Batasi dan operasi proyek pilih berdasarkan baris dan kolom, masing-masing, untuk menyediakan tabel yang dikurangi. Batasi, juga dikenal dan dijelaskan sebagai kueri tabel, di bawah ini, menyajikan rekaman berdasarkan nilai untuk variabel tertentu. Batasan pada Gambar a ditentukan untuk membatasi set saat ini ke set yang memiliki ukuran besar atau besar—semua entri lain dalam relasi tidak dipilih (ingat, tabel disebut "relasi" dalam database relasional). Pembatasan kemudian hanya mengembalikan empat dari tujuh catatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar a.

Operasi pembatasan dapat bersifat majemuk dan kompleks serta melibatkan lebih dari satu atribut. Operasi pembatasan paling sering mengembalikan kumpulan baris yang dikurangi untuk tabel sebagai output. Contoh operasi pembatasan yang lebih kompleks, atau kueri tabel.

Operasi proyek mengembalikan seluruh kolom untuk sebuah tabel, pada dasarnya membuat tabel secara vertikal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar b. Tabel database mungkin cukup besar, dan berisi ratusan item. Analisis yang diberikan mungkin hanya menyangkut beberapa item tersebut, sehingga operasi proyek hanya mengizinkan kolom-kolom yang diinginkan dari tabel untuk dijadikan subset. Ini secara substansial dapat meningkatkan kecepatan pemrosesan, mengurangi ruang penyimpanan yang diperlukan, dan memudahkan tampilan dan analisis. Dalam contoh yang ditunjukkan, ID, warna, dan ukuran dipilih dari relasi dasar untuk membuat relasi baru.

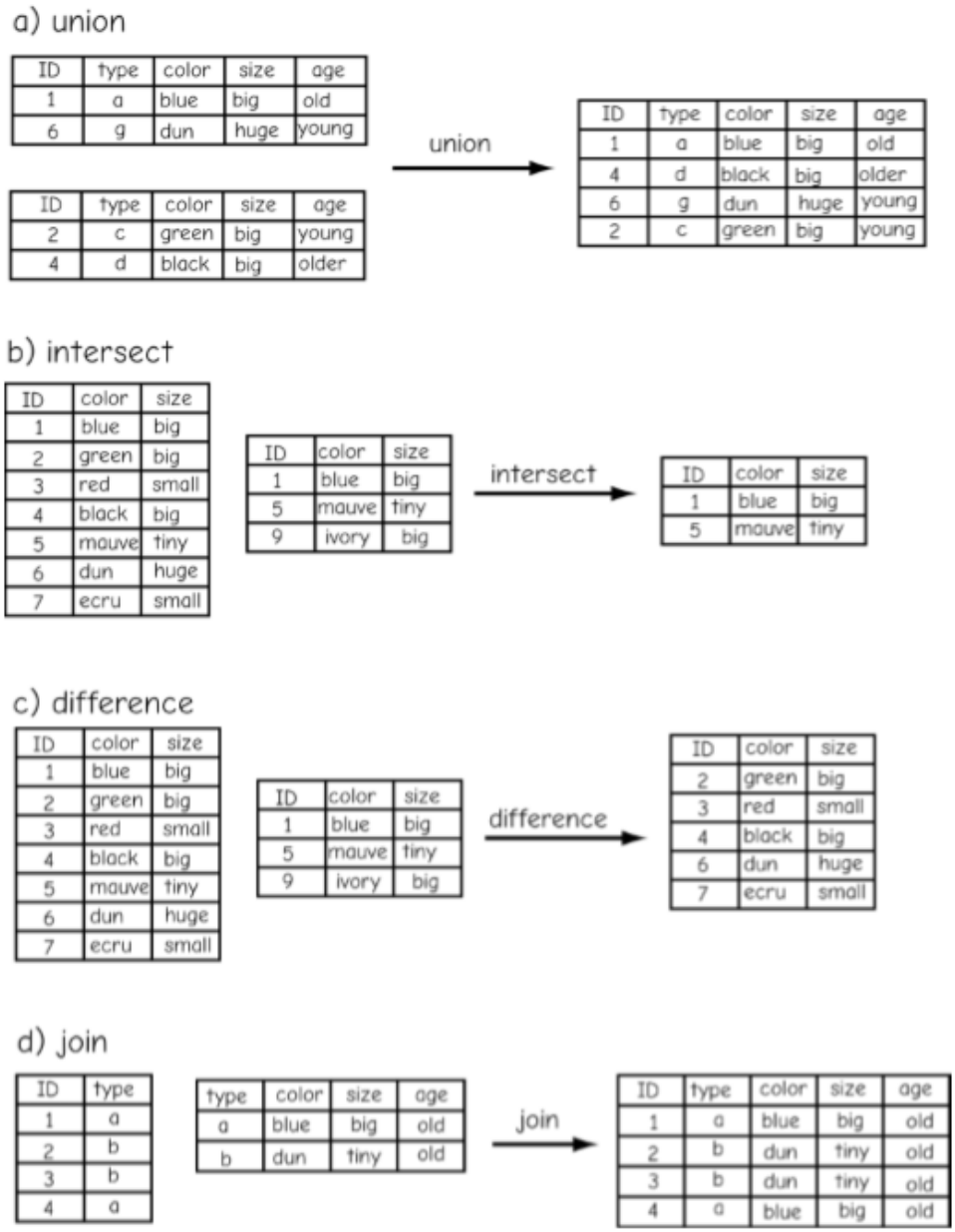
Operasi produk menggabungkan semua nilai unik dalam satu tabel dengan semua nilai unik di tabel lain untuk menghasilkan tabel yang lebih besar (Gambar c). Nilai dapat berupa bidang tunggal, atau dapat berupa n-tupel (beberapa bidang), kumpulan item yang diambil bersama dalam satu baris. Produk mendefinisikan set lengkap kemungkinan kombinasi yang mungkin terjadi saat menggabungkan dua relasi.

Operasi pembagian seringkali merupakan yang paling membingungkan dari delapan operator relasional asli, setidaknya bagi pengguna baru. Operasi pembagian tidak secara jelas terkait dengan pembagian matematis, setidaknya sampai pengguna memperoleh beberapa pengalaman menggunakan pembagian relasional. Pembagian relasional analog dengan pembagian matematis di mana ada target (dividen) yang dibagi dengan tabel lain (pembagi). Namun, kebingungan muncul karena ini dilakukan relatif, atau per, tabel ketiga.

Operasi pembagian umumnya digunakan dalam kueri yang akan menggunakan kata "semua" dalam deskripsi bahasa alami permintaan, misalnya, "dapatkan negara bagian dengan ketiga kelompok etnis utama". Dividen dibagi dengan pembagi di atas meja. Misalnya, daftar negara bagian dibagi dengan daftar kelompok etnis di atas tabel yang berisi item negara bagian dan kelompok etnis. Hanya negara bagian dengan ketiga kelompok etnis yang dikembalikan.

Contoh dari operasi pembagian relasional ditunjukkan pada Gambar d. Tabel pertama dengan item bernama type dibagi dengan tabel dengan item bernama size di atas tabel dengan type dan size. Ini mengembalikan tabel dengan tipe item dan satu entri, m. Hanya nilai tipe yang memiliki catatan dengan semua nilai ukuran yang dikembalikan. Perhatikan bahwa pada Gambar d n tidak memiliki ukuran 1,3, dan 4, dan r tidak memiliki ukuran 2 dan 4.

Empat operator relasional utama yang tersisa, seperti yang didefinisikan oleh E.F. Codd, biasanya mengembalikan catatan berdasarkan keanggotaan dalam dua atau lebih tabel. Operator-operator ini adalah serikat pekerja, persimpangan, perbedaan, dan gabungan, dan mereka diilustrasikan pada Gambar dibawah ini, dan dijelaskan secara berurutan dalam paragraf berikut:



Gambar 8.18 : Empat dari delapan operator aljabar relasional seperti yang didefinisikan oleh E.F. Codd: union, intersect, difference, dan join.

Sebelum kita menjelaskan operasi penyatuan, perpotongan, dan perbedaan, kita harus mencatat batasan dalam penerapannya. Tabel yang digunakan dalam tiga operasi relasional ini harus dari jenis yang sama. Itu berarti mereka harus memiliki set variabel atau item yang sama sebelum dapat digunakan dalam tiga operasi ini. Tidak masuk akal untuk menemukan persimpangan dua tabel ketika mereka tidak berbagi set item yang sama, misalnya, tabel alamat rumah dan tabel spesies tanaman. Tabel-tabel ini akan selalu memiliki himpunan

perpotongan yang kosong, jadi ini adalah aplikasi operasi perpotongan yang tidak masuk akal. Ada masalah serupa ketika operasi relasional gabungan dan perbedaan dilakukan pada tabel yang tidak memiliki kumpulan item yang sama. Oleh karena itu, operasi ini hanya didefinisikan dan diperbolehkan dalam konteks tabel dengan jenis yang sama—yaitu, tabel yang memiliki item yang sama persis, didefinisikan dengan cara yang persis sama. Ini tidak berarti tabelnya identik—akan ada nilai yang berbeda di berbagai kolom. Sebaliknya, kolom untuk kedua tabel harus dari tipe data yang sama (misalnya, integer, teks, real), dan semua kolom harus ada di kedua tabel.

Operasi gabungan menggabungkan tabel untuk mengembalikan catatan yang ditemukan di salah satu atau kedua tabel. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar a, tabel "ditumpuk" untuk mengembalikan tabel baru dengan anggota keduanya, tetapi tidak menunjukkan catatan duplikat untuk entri yang muncul di kedua tabel. Dengan demikian, hasil dari gabungan setidaknya berukuran terbesar dari dua tabel, dan tidak lebih besar dari jumlah kedua tabel.

Operasi perpotongan mengembalikan record yang terjadi pada kedua tabel input, dan menghilangkan record yang ditemukan hanya pada salah satu dari dua tabel input (Gambar b). Perhatikan bahwa catatan dengan nilai ID 1 dan 5 adalah satu-satunya dua yang ditemukan di kedua tabel, sehingga hanya dua yang disertakan dalam tabel output.

Operasi perbedaan mengembalikan catatan-catatan yang ada di tabel pertama, tetapi bukan tabel kedua (Gambar c). Contoh ini menunjukkan semua record yang tidak ada di kedua tabel, dalam contoh kita 2 sampai 4, ditambah 6 dan 7.

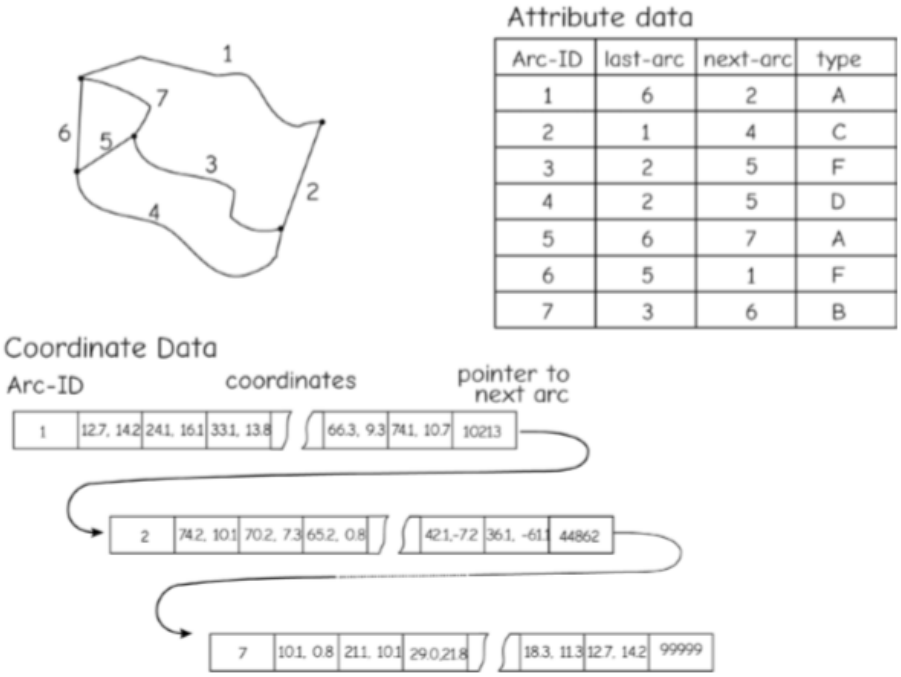
Urutan input tabel dalam operasi gabungan atau persimpangan tidak mengubah output. Namun, dengan perbedaan operator, urutan biasanya penting. Kumpulan record yang dikembalikan dari selisih tabel pertama dengan tabel kedua, yang ditunjukkan pada Gambar c, diharapkan berbeda dari penerapan perbedaan tabel kedua dari yang pertama pada Gambar c.

Operasi gabungan menggabungkan dua tabel melalui nilai yang ditemukan di kunci. Nilai dalam satu atau beberapa kunci dicocokkan di seluruh tabel, dan informasi digabungkan berdasarkan kecocokan. Gambar d menunjukkan contoh gabungan di dua tabel, dalam hal ini bergabung melalui item tipe. Setiap entri tipe dalam tabel di sebelah kiri dicocokkan dengan nilai tipe di tabel tengah, dan data kemudian digabungkan atau dihubungkan melalui nilai tipe. Catatan output di sebelah kanan Gambar d adalah atribut gabungan dari kedua tabel. Record dalam tabel output dengan nilai ID sama dengan 1 dan 4 memiliki nilai tipe sama dengan a serta warna, ukuran, dan usia yang terkait dengan tipe a. Catatan dengan tipe b memiliki ID yang sesuai (2, 3) dan warna, ukuran, dan usia yang terkait dengan tipe b

8.2.17 Desain Dasar Data Hibrida di GIS

Data dalam GIS sering disimpan menggunakan desain hybrid. Desain hybrid menyimpan data koordinat menggunakan struktur database khusus, dan data atribut dalam database relasional. Ribuan hingga jutaan pasangan koordinat atau sel biasanya diperlukan untuk mewakili lokasi dan bentuk objek dalam GIS. Bahkan dengan komputer modern, pengambilan data koordinat yang disimpan dalam desain database relasional seringkali terlalu lambat. Oleh karena itu, data koordinat sering disimpan menggunakan struktur yang dirancang untuk pengambilan cepat. Ini melibatkan pengelompokan koordinat untuk objek kartografi, misalnya, menyimpan

daftar pasangan koordinat yang berurutan untuk menentukan garis, dan mengindeks atau mengelompokkan garis untuk mengidentifikasi poligon. Pointer digunakan untuk menghubungkan garis atau poligon terkait, dan pengidentifikasi unik menghubungkan fitur geografis (titik, garis, atau poligon) ke data atribut yang sesuai.



Gambar 8.19: Contoh kecil dari sistem database hybrid untuk data spasial. Data atribut disimpan dalam tabel relasional, sedangkan data koordinat disimpan dalam jaringan atau struktur lainnya.

Hubungan topologi dapat dikodekan secara eksplisit untuk meningkatkan analisis atau untuk meningkatkan kecepatan akses. Alamat ke data sebelumnya dan berikutnya secara eksplisit disimpan dalam tabel pengindeksan, dan pointer digunakan untuk menghubungkan string koordinat. Secara eksplisit merekam elemen topologi dari semua objek geografis dalam layer data dapat meningkatkan manipulasi geografis, termasuk penentuan kedekatan, perpotongan garis, overlay poligon, dan definisi jaringan. Koordinat untuk fitur atau bagian tertentu dari fitur dapat dikelompokkan dan grup ini diindeks untuk mempercepat manipulasi atau tampilan.

Desain data hybrid biasanya menyimpan data atribut dalam DBMS. Data ini terkait dengan data geografis melalui pengidentifikasi unik atau label yang merupakan atribut dalam DBMS. Data dapat disimpan dengan cara yang memfasilitasi penggunaan lebih dari satu merek DBMS, dan memungkinkan pengangkutan data yang mudah dari satu DBMS ke yang lain.

8.3 Seleksi Berdasarkan Atribut

8.3.1 Batasi Operator: Kueri Tabel

Query adalah salah satu operasi yang paling umum dalam DBMS. Kueri dapat dilihat sebagai pemilihan subset rekaman berdasarkan nilai atribut yang ditentukan. Kueri mungkin sederhana, menggunakan satu variabel, atau mungkin majemuk, menggunakan kondisi pada lebih dari satu variabel, atau menggunakan beberapa kondisi pada satu variabel. Orang

mungkin mencari semua bidang yang pajaknya belum dibayar, semua blok sensus dengan ukuran lebih besar dari satu mil persegi dan kurang dari 200 penduduk, atau semua hidran kebakaran yang belum diuji tekanannya, berada di dekat gedung-gedung tinggi, dan lebih jauh dari 300 m dari hidran kebakaran terdekat lainnya. Secara konsep, kueri cukup sederhana, tetapi operasi kueri dasar dapat digabungkan untuk menghasilkan pilihan yang cukup kompleks.

Banyak perangkat lunak GIS menyediakan pembuat kueri, antarmuka pengguna grafis (GUI) yang membantu dalam menerapkan operasi pemilihan. Sebagian besar GUI menyertakan daftar bidang yang tersedia, operasi, dan sampel atau tampilan lengkap nilai untuk bidang yang dipilih. Pengguna membuat kueri dengan mengklik nama item, operasi, dan memasukkan nilai secara bergantian untuk membuat ekspresi kueri. Ekspresi ini kemudian dapat diterapkan, dan fitur yang cocok dengan ekspresi kueri dipilih. Seringkali Anda dapat menyimpan ekspresi yang rumit atau panjang, untuk digunakan kembali nanti pada kumpulan data yang berbeda

Gambar 8.20 : GUI pembuatan kueri dari jenis yang sering disediakan dalam perangkat lunak GIS, di sini dari QGIS. Ekspresi pilihan dapat dibuat di panel bawah dengan mengklik bidang, operator, dan nilai di panel atas.

Sisi kiri Gambar diatas menunjukkan pemilihan dari kueri sederhana. Satu kondisi ditentukan, Area > 20. Kumpulan rekaman yang dipilih kosong di awal kueri. Setiap record diperiksa dan ditambahkan ke set yang dipilih jika atribut Area memenuhi kriteria yang ditentukan. Setiap record dalam set yang dipilih ditampilkan dalam warna abu-abu pada Gambar dibawah ini.

Simple selection:

records with Area > 20.0

ID	Area	Landuse	Municip
1	10.5	Urban	City
2	330.3	Farm	County
3	2.4	Suburban	Township
4	96.0	Suburban	County
5	22.1	Urban	City
6	30.2	Farm	Township
7	4.4	Urban	County

AND selection:

records with (Landuse = Urban) AND (Municip = City)

ID	Area	Landuse	Municip
1	10.5	Urban	City
2	330.3	Farm	County
3	2.4	Suburban	Township
4	96.0	Suburban	County
5	22.1	Urban	City
6	30.2	Farm	Township
7	4.4	Urban	County

Gambar 8.21 : Seleksi sederhana, menerapkan satu kriteria untuk memilih catatan (kiri), dan pemilihan majemuk, menerapkan beberapa persyaratan (kanan).

Sisi kanan gambar diatas menunjukkan kueri gabungan berdasarkan dua atribut. Kueri ini menggunakan kondisi DAN untuk memilih rekaman yang memenuhi dua kriteria. Rekaman dipilih yang memiliki nilai Penggunaan Lahan sama dengan Perkotaan, dan nilai Kota sama dengan Kota. Semua rekaman yang memenuhi kedua persyaratan ini ditempatkan di set yang dipilih, dan rekaman yang gagal memenuhi persyaratan ini berada di set yang tidak dipilih. Operasi Boolean AND, OR, dan NOT dapat diterapkan dalam kombinasi untuk memilih record yang memenuhi beberapa kriteria.

Kombinasi AND biasanya mengurangi jumlah record dalam set yang dipilih. Mereka menambahkan kriteria yang membatasi, dan mereka memberikan serangkaian kondisi yang lebih berat yang harus dipenuhi untuk seleksi. Pada contoh di sebelah kanan gambar, record dengan ID = 7 memenuhi kriteria pertama, Landuse = Urban, tetapi tidak memenuhi kriteria kedua yang ditentukan dalam AND, Municipality = City. Dengan demikian, record dengan ID = 7 tidak dipilih. AND menambahkan batasan yang menampi set yang dipilih.

OR selection:
records with (Area > 20.0)
OR (Municip = City)

ID	Area	Landuse	Municip
1	10.5	Urban	City
2	330.3	Farm	County
3	2.4	Suburban	Township
4	96.0	Suburban	County
5	22.1	Urban	City
6	30.2	Farm	Township
7	4.4	Urban	County

NOT selection:
records with
Landuse NOT Urban

ID	Area	Landuse	Municip
1	10.5	Urban	City
2	330.3	Farm	County
3	2.4	Suburban	Township
4	96.0	Suburban	County
5	22.1	Urban	City
6	30.2	Farm	Township
7	4.4	Urban	County

Gambar 8.22 : OR dan NOT pilihan majemuk.

Kombinasi OR biasanya menambah atau menambah kumpulan yang dipilih dalam kueri gabungan. Kondisi ATAU dapat dianggap sebagai kriteria inklusif. OR menambahkan rekaman yang memenuhi kriteria ke kumpulan rekaman yang ditentukan oleh kriteria sebelumnya.

Pada query di sebelah kiri gambar, kriteria pertama, Area > 20, menghasilkan pemilihan record 2, 4, 5, dan 6. Kondisi OR menambahkan record yang memenuhi kriteria Municip = City, dalam hal ini record dengan ID = 1.

NOT adalah operasi negasi, dan dapat diartikan sebagai “pilih record-record yang tidak memenuhi syarat.” Sisi kanan Gambar 8-13 menunjukkan operasi negasi. Operasi dapat dilihat sebagai pengganti pertama yang sama dengan NOT, dan mengidentifikasi semua record. Kemudian catatan yang tersisa ditempatkan di set yang dipilih, dan catatan yang diidentifikasi ditempatkan di set yang tidak dipilih.

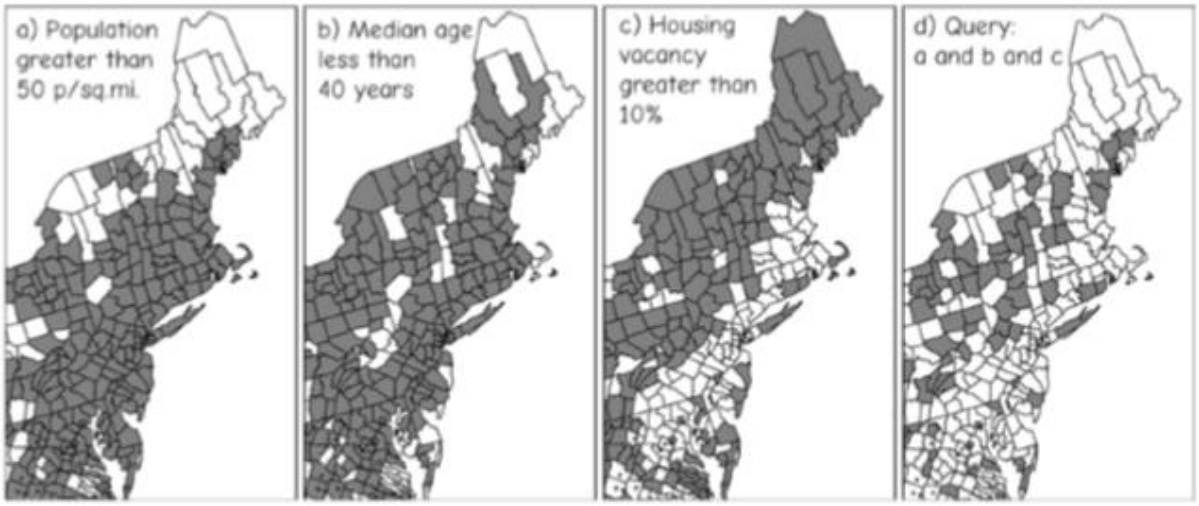
AND, OR, dan NOT dapat memiliki efek kompleks saat digunakan dalam kondisi gabungan, dan urutan atau prioritas penting dalam kueri. Kombinasi dari ketiga operasi ini dapat digunakan untuk melakukan seleksi yang sangat kompleks.

Complex selection:
records with [(Landuse = Urban) AND (Mill Rate = B)] OR
{NOT(Municip = City) AND (Density > 200)]

ID	Area	Landuse	Municip	Density	Mill Rate
1	10.5	Urban	City	1,112.2	A
2	330.3	Farm	County	1.9	C
3	2.4	Suburban	Township	237.5	C
4	96.0	Suburban	County	98.1	A
5	22.1	Urban	City	916.2	B
6	30.2	Farm	Township	3.7	A
7	4.4	Urban	County	153.8	D

Gambar 8.23 : Contoh seleksi kompleks, menggabungkan berbagai operator seleksi.

Gambar diatas menunjukkan hasil query yang kompleks, menggabungkan operasi AND, OR, dan NOT. Di sini, tanda kurung siku memilih baris dengan nilai Landuse sama dengan Urban, dan nilai Mill Rate sama dengan B. Baris 5 adalah satu-satunya record yang memenuhi kriteria ini. Tanda kurung kurawal memilih baris-baris yang tidak berada dalam Kota, dan dengan Kepadatan lebih besar dari 200. Ini memilih Baris 3, dan set terpilih terakhir mencakup kedua baris, dengan operasi ATAU. Operasi pemilihan mungkin menjadi sangat rumit, dan "kalimat" pemilihan yang panjang dan kompleks dapat disimpan, yaitu, sintaks yang disalin dalam file teks atau repositori lain, dan diterapkan saat diperlukan.



Gambar 8.24 : Kriteria pemilihan komponen dan komposit. Pemeriksaan visual komposit terhadap subkomponen sering membantu, terutama saat belajar.

Sementara kueri database biasanya diterapkan ke tabel, kita harus ingat bahwa dalam GIS tabel biasanya terhubung dalam beberapa cara ke fitur geografis. Pemilihan elemen tabel menyiratkan pemilihan elemen geografis terkait. Itu selalu merupakan ide yang baik untuk memverifikasi bahwa pemilihan berfungsi seperti yang diharapkan. Verifikasi seringkali paling mudah dengan melihat hasil seleksi, baik pada tabel, geografi, atau keduanya. Gambar diatas mengilustrasikan hasil dari tiga kriteria seleksi terpisah: a) bahwa populasi kabupaten lebih besar dari 50 orang per mil persegi, b) bahwa usia rata-rata kurang dari 40 tahun, dan c) bahwa tingkat kekosongan perumahan lebih besar dari 10 %. Panel paling kanan menunjukkan wilayah yang dikembalikan dari kueri yang menetapkan bahwa kriteria a dan b dan c semuanya terpenuhi. Keakuratan kueri dapat dengan cepat diverifikasi dengan memeriksa peta komponen dan pilihan akhir, dan inspeksi semacam itu harus dilakukan bila memungkinkan, tetapi terutama ketika pertama kali mempelajari atau bekerja dengan sistem kueri.

NOT [(Landuse = Urban) AND (Municip = County)]

ID	Area	Landuse	Municip
1	10.5	Urban	City
2	330.3	Farm	County
3	2.4	Suburban	Township
4	96.0	Suburban	County
5	22.1	Urban	City
6	30.2	Farm	Township
7	4.4	Urban	County

[NOT (Landuse = Urban)] AND [NOT (Municip = County)]

ID	Area	Landuse	Municip
1	10.5	Urban	City
2	330.3	Farm	County
3	2.4	Suburban	Township
4	96.0	Suburban	County
5	22.1	Urban	City
6	30.2	Farm	Township
7	4.4	Urban	County

Gambar 8.25 : Operasi seleksi mungkin tidak didistribusikan, dan urutan aplikasi sangat penting. Ketika operasi NOT diterapkan setelah AND (kiri) kumpulan record yang berbeda dipilih daripada ketika operasi NOT diterapkan sebelum AND (sisi kanan). Urutan operasi itu penting, dan ambiguitas harus dihilangkan dengan menggunakan tanda kurung atau pembatas lainnya.

Gambar diatas menunjukkan bahwa kueri umumnya tidak distributif. Misalnya, jika OP1 dan OP2 adalah operasi, seperti AND atau NOT, maka,

OP1 (KondisiA Kondisi OP2B)

tidak selalu sama dengan

(Kondisi OP1A)OP2(Kondisi OP1B)

Sebagai contoh,

NOT [(Tanah = Perkotaan) AND (Kota = Kabupaten)]

tidak menghasilkan kumpulan catatan yang sama dengan ekspresi

[NOT (Tanah = Perkotaan)] AND [NOT (Kota = Kabupaten)]

Tanda kurung atau pembatas lainnya harus digunakan untuk memastikan kueri yang tidak ambigu.

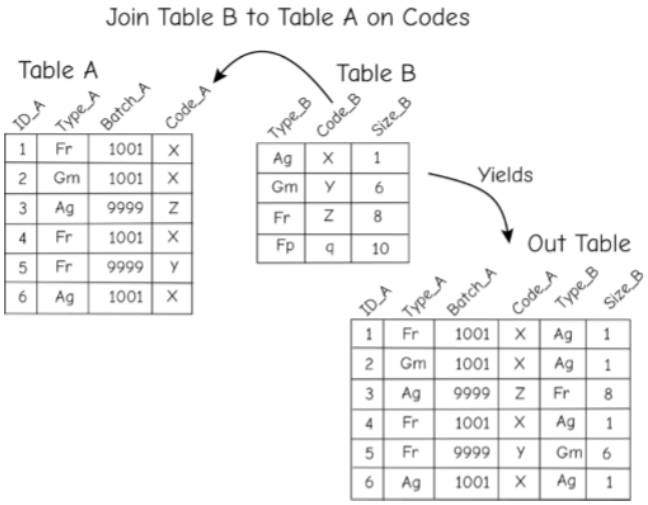
Database relasional dapat mendukung bahasa kueri terstruktur yang dikenal sebagai SQL (diucapkan sebagai sekuel dan "ess kyou el"). SQL awalnya dikembangkan oleh International Business Machines Corporation tetapi didukung oleh sejumlah vendor perangkat lunak. SQL adalah bahasa kueri nonprosedural karena spesifikasi kueri tidak bergantung pada struktur data. Bahasa dapat menjadi kuat, umum, dan dapat ditransfer di seluruh sistem, dan telah diadopsi secara luas.

SQL menyediakan kemampuan untuk mendefinisikan dan memanipulasi data. Tipe data dapat didefinisikan, dan tabel yang berisi variabel dari tipe tertentu dapat ditentukan. Operasi standar digunakan untuk memanipulasi data, misalnya, untuk memilih, menghapus, menyisipkan, dan memperbarui database. Kueri yang panjang atau rumit dapat disimpan dalam file teks, atau sebagai skrip, yang dapat di-debug, dimodifikasi, atau digunakan nanti. Script ini mungkin cukup panjang, dan cukup disebut sebagai program, mengingat kompleksitas dan kemampuannya. Utilitas dapat disediakan untuk membantu menulis, menguji, dan mengotomatisasi skrip ini.

Karena SQL seperti yang didefinisikan pada awalnya memiliki keterbatasan untuk pemrosesan data spasial, banyak operasi spasial tidak mudah direpresentasikan dalam SQL. Lebih banyak pilihan dapat ditentukan hanya dengan kueri kompleks, sehingga berbagai ekstensi SQL yang sesuai untuk data spasial telah dikembangkan.

8.4 Gabungan atau Relating Tabel

Database relasional sangat kuat sebagian karena kita dapat menyusun data dengan cara yang mengurangi duplikasi, lebih mudah dipelihara, dan fleksibel; banyak dari fleksibilitas ini adalah karena kita dapat menggabungkan tabel. Gabung, juga dikenal sebagai hubungan, menggunakan kolom dalam satu tabel untuk mencocokkan baris berdasarkan kolom di tabel lain.



Gambar 8.25 : Angka ini menggambarkan gabungan sederhana. Tabel B digabungkan ke Tabel A, mencocokkan nilai Kode _B dengan nilai Kode _A yang sesuai, untuk membuat Tabel Keluar.

Gabungan didasarkan pada item gabungan, atau bidang gabungan. Dalam bentuknya yang paling sederhana, satu kolom dalam satu tabel dicocokkan dengan kolom di tabel lain, dan tabel baru "dibuat" dengan menggabungkan baris untuk nilai yang cocok. Gambar diatas

menunjukkan gabungan sederhana antara dua tabel. Gabung paling sederhana menggunakan satu kolom di setiap tabel sebagai item yang cocok atau "bergabung". Di sini, Code_A dan Code_B, masing-masing, digunakan. Jika kita menyebut Tabel A sebagai “tabel target”, dan Tabel B sebagai “tabel sumber”, maka gabungan kita terdiri dari “menyalin” nilai untuk baris dalam tabel target ke tabel output, dan kemudian menemukan baris yang sesuai di tabel tabel sumber, dicocokkan dengan item gabungan, dan menyelesaikan baris output dengan "menyalin" nilai dari baris yang cocok di tabel sumber. Nilai tidak benar-benar disalin, melainkan terkait dan ditampilkan bersama, sehingga hanya tampak telah disalin.

8.4.1 Kunci Utama dan Gabung

Kami telah mencatat sebelumnya bahwa kunci adalah "kunci" untuk database relasional, dan karena itu mereka memiliki karakteristik khusus tertentu, yang akan kami jelaskan di sini. Ada beberapa jenis kunci, tetapi yang paling penting adalah kunci utama, sebuah item (atau terkadang beberapa item) yang secara unik mengidentifikasi setiap baris dalam sebuah tabel. Kami sering membuat dan menghasilkan nomor unik ini untuk melacak berbagai hal, misalnya, nomor jaminan sosial unik untuk seseorang; nomor ID suku cadang sering kali diberikan secara unik oleh pabrikan; dan nomor SKU unik untuk barang-barang di toko. ID_A adalah kunci utama untuk Tabel A pada Gambar karena nilainya secara unik mengidentifikasi baris. Tabel B pada gambar tersebut memiliki tiga kolom yang dapat berfungsi sebagai kunci utama, Type_B, Code_B, atau Size_B. Ini semua adalah kunci kandidat, karena masing-masing dapat berfungsi sebagai kunci utama. Biasanya, ketika ini terjadi, salah satu kolom ditunjuk dan digunakan sebagai kunci utama.

Jika kita memeriksa setiap baris Tabel Keluar pada kita melihat bahwa ketika menggabungkan item, kita mencocokkan baris yang sesuai dengan nilai kunci. Nilai X untuk Code_B pada baris pertama Tabel B cocok dengan X untuk Code_A yang terdapat pada baris 1, Tabel A. Baris pertama pada Tabel Keluar adalah gabungan dari baris 1 dari Tabel A (ID_A=1, Type_A=Fr, Batch_A=1001) dan baris 1 dari Tabel B (Tipe_B=Ag, Ukuran_B=1).

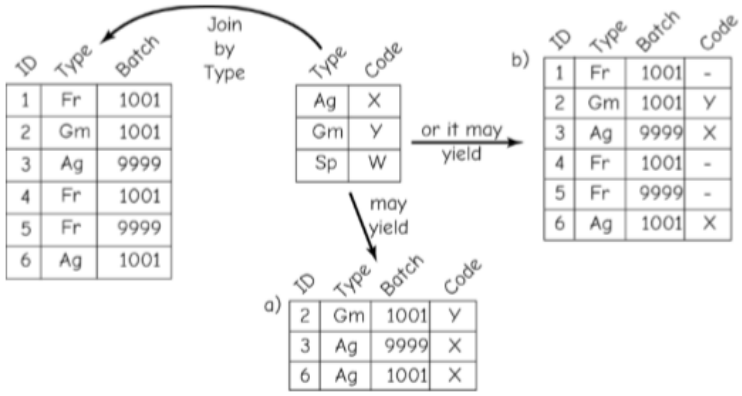
Baris kedua pada Tabel Keluar dibuat dengan cara “menyalin” nilai pada baris 2, Tabel A, dan menggabungkannya dengan baris pencocokan “Kode” pada Tabel B. Di sini, kunci Code_A untuk baris 2 pada Tabel A memiliki nilai X , dan ini cocok dengan X untuk Code_B di baris 1 Tabel B. Jadi, kita “menggabungkan” baris 2 di Tabel A dengan baris 1 di Tabel B untuk membuat baris 2 di Tabel Keluar kita. Baris ketiga di Tabel Keluar dibuat dengan mencocokkan nilai Code_B, Z, di baris 3 Tabel B dengan nilai Code_A di baris 3 Tabel A. Ini membuat baris ketiga di Tabel Keluar, dan sekali lagi, perhatikan bahwa variabel untuk baik Tabel A dan Tabel B "disalin" ke dalam tabel output. Baris 4 di Tabel Keluar dibuat dengan mencocokkan X di Tabel B, Code_B, baris 1, ke X di Tabel A, Code_A di baris 4. Sekali lagi, variabel yang sesuai disalin dari setiap tabel untuk membuat baris di tabel output . Proses ini berlanjut hingga kami mencoba mencocokkan semua baris di tabel Target.

Ada beberapa hal yang perlu digarisbawahi. Ketidakcocokan di tabel sumber tidak selalu berakhir di tabel output. Periksa nilai Code_B pada Tabel B pada Gambar 8-17. Perhatikan bahwa nilai q di baris 4 Tabel B tidak cocok dengan nilai Code_A mana pun di Tabel A, jadi data dari baris 4 Tabel B tidak muncul di tabel output; dengan kata lain, tidak ada baris dengan nilai Type_B dari nilai Fp dan Size_B 10 pada Out Table. Elemen yang tidak cocok dibuang dalam gabungan khusus ini. Ini adalah cara umum untuk menangani nilai yang tidak cocok, yaitu membuang semua data yang tidak cocok, tetapi ini bukan satu-satunya cara. Kami dapat

menentukan gabungan yang menyimpan beberapa atau semua elemen yang tidak cocok, dan kami harus mengetahui varian gabungan yang berbeda ini.

Kunci utama, atau item yang dapat berfungsi sebagai kunci utama, biasanya digunakan sebagai item gabungan dalam tabel "sumber" dari operasi gabungan. Hal ini diilustrasikan dalam gabungan. Code_B di "sumber" Tabel B secara unik mengidentifikasi setiap baris dalam tabel itu, dan digunakan untuk menautkan ke Tabel A melalui Code_A. Seperti yang dijelaskan kemudian, ketika item yang tidak atau tidak dapat digunakan sebagai kunci utama digunakan sebagai sumber dalam gabungan, Anda sering mendapatkan gabungan yang ambigu atau salah.

Kami biasanya sangat berhati-hati tentang bagaimana kami menetapkan dan ketika kami mengubah nilai kunci utama, sebagian karena pentingnya mereka dalam bergabung. Kita harus memastikan bahwa kita tidak menduplikasi nilai kunci dalam tabel data, dan kita harus berhati-hati untuk tidak menetapkan kembali nilai ke kunci utama melalui perhitungan atau modifikasi lainnya. Banyak sistem database memiliki pemeriksaan untuk menghindari kesalahan ini. Misalnya, banyak database online menggunakan alamat email sebagai pengenal utama, dan mereka mencegah Anda mendaftar dua kali dengan alamat email yang sama. Banyak kesalahan dalam database hasil dari korupsi dari kunci utama.



Gambar 8.26: Contoh gabungan dalam (a) dan luar (b). Perhatikan bahwa gabungan dalam hanya menyimpan baris yang cocok, sedangkan gabungan luar menyimpan nilai untuk baris yang cocok dan tidak cocok.

Menguasai perbedaan antara jenis gabungan ini mungkin sedikit lebih maju untuk kursus pengantar GIS, tetapi saya memperkenalkannya di sini karena banyak perangkat lunak menyediakan berbagai jenis gabungan sebagai "standar" atau default, dan tidak mengidentifikasinya berdasarkan nama. Ini dan berbagai jenis gabungan lainnya dibahas secara mendalam di sebagian besar buku dan kursus database pengantar, tetapi dapat membingungkan untuk membedakan dan menerapkannya tanpa beberapa latihan. Saya memperkenalkan mereka di sini untuk:

memperingatkan Anda tentang perbedaan antara berbagai jenis gabungan, dan untuk menekankan bahwa jenis gabungan yang berbeda biasanya akan menghasilkan hasil yang berbeda, bahkan ketika diterapkan pada data yang sama, dan

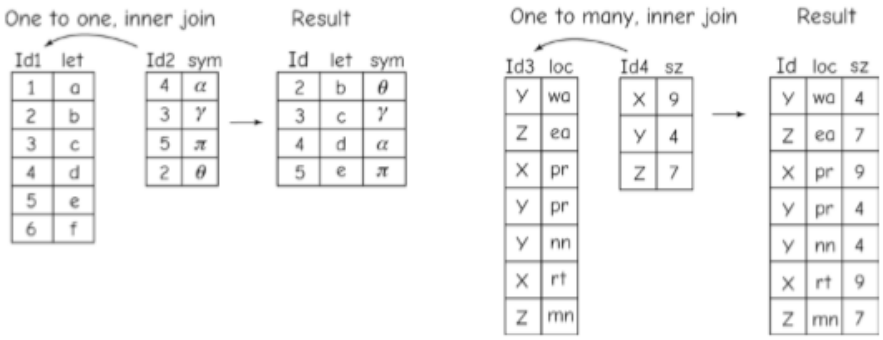
untuk menekankan bahwa ada nama standar untuk berbagai jenis gabungan, meskipun tidak semua perangkat lunak GIS menggunakannya. Anda harus memverifikasi cara kerja gabungan

saat pertama kali menggunakan perangkat lunak baru, dengan membandingkan tabel sumber dan output.

Gambar tersebut mengilustrasikan perbedaan antara sambungan dalam dan luar. Tengah tabel bergabung ke tabel paling kiri pada item Type. Gabungan dalam yang dihasilkan ditunjukkan dalam a. Perhatikan bahwa hanya baris 2, 3, dan 6 dari tabel "target" di sebelah kiri, dengan nilai Ag dan Gm untuk Tipe (kunci kami) yang dicatat dalam tabel output pada Gambar a, karena hanya itu nilai Tipe ditemukan di kedua tabel. Informasi di baris 1, 4, dan 5 tidak disimpan dalam tabel output. Gambar b menunjukkan gabungan luar, di mana baris tabel sumber yang tidak cocok dipertahankan. Nilai null atau kosong ditempatkan untuk atribut yang tidak cocok dari tabel target, seperti yang ditunjukkan oleh tanda hubung pada item Kode untuk baris 1, 4, dan 5 dari tabel output b.

Anda mungkin telah menyimpulkan sekarang bahwa item gabungan sangat penting saat menggabungkan tabel. Jika item gabungan tidak dibuat dengan benar, maka gabungan kemungkinan akan menghasilkan hasil yang tidak diinginkan. Kita harus memperhatikan item gabungan di seluruh tabel, terutama berapa banyak nilai yang cocok untuk item gabungan kita di seluruh tabel sumber dan target.

Sebagian besar gabungan harus melibatkan hubungan satu-ke-satu atau satu-ke-banyak antara sumber dan item gabungan target. Inilah sebabnya mengapa kami biasanya menggunakan kunci utama di tabel sumber kami sebagai kolom untuk bergabung, atau kami menggunakan item yang dapat berfungsi sebagai kunci utama. Ini menghindari hubungan banyak-ke-satu antara kolom sumber dan target, yang sering mengakibatkan masalah. Paragraf berikut mengilustrasikan masalah-masalah ini.

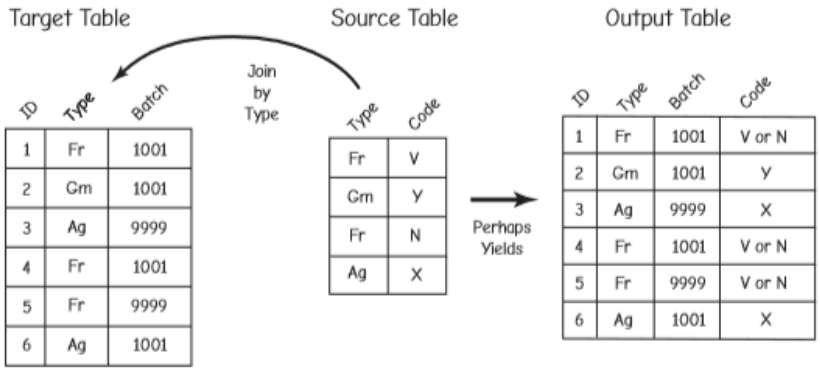


Gambar 8.27: Contoh hubungan satu-ke-satu dan satu-ke-banyak antar tabel.

Hubungan satu-ke-satu berarti hanya itu, mungkin ada satu dan hanya satu contoh dalam item gabungan dari tabel sumber yang cocok dengan satu dan hanya satu contoh dari item gabungan dalam tabel target. Sisi kiri Gambar diatasmengilustrasikan kecocokan satu lawan satu untuk item Id1 dan Id2. Setiap nilai Id2 hanya cocok dengan satu nilai Id1. Perhatikan bahwa tidak semua nilai Id1 memiliki kecocokan di Id2.

Tabel juga dapat digabungkan dengan jelas jika ada hubungan satu-ke-banyak antara item gabungan sumber dan item gabungan target. Gabung di sisi kanan Gambar diatas menunjukkan hubungan satu-ke-banyak antara sumber, pada item Id4, dan target, pada item Id3. Perhatikan ada tiga contoh Y di Id3, tetapi mereka secara jelas cocok dengan satu nilai Y di Id4.

Kami sering mengalami masalah ketika kami mencoba bergabung dengan item yang memiliki hubungan banyak-ke-satu atau banyak-ke-banyak. Ini sering dianggap sebagai kunci yang tidak cocok, karena hasil dari gabungan dapat menjadi tidak pasti—Anda tidak dapat memprediksi hasil sebelumnya, atau dapat berubah karena faktor palsu, seperti efek acak semu dari urutan baris. Karena Anda sering tidak yakin dengan hasil yang akan Anda dapatkan, hubungan banyak-ke-satu atau banyak-ke-banyak antara kunci sumber dan target jarang merupakan ide yang bagus. Kami biasanya memerlukan item sumber dalam gabungan untuk menjadi kunci utama atau kunci kandidat, yang mampu berfungsi sebagai kunci utama, kolom atau kumpulan kolom yang secara unik mengidentifikasi baris dari tabel sumber, sehingga ada satu-untuk -satu atau satu-ke-banyak hubungan dalam bergabung.



Gambar 8.28 Contoh item gabungan yang tidak cocok

Gambar diatas menunjukkan contoh item gabungan yang tidak cocok. Item Ketik dalam Tabel Sumber bukan kunci, dan ini menghasilkan gabungan banyak ke banyak. Ada dua baris di Tabel Sumber dengan nilai Tipe Fr. Kedua baris mungkin cukup cocok dengan nilai kunci Fr yang ditemukan di Tabel Target, menghasilkan penetapan ambigu untuk nilai Kode untuk baris tersebut. Baik V dan N sama-sama didukung, maka hasil kami tidak pasti, seperti yang ditunjukkan pada Tabel Output. Ketidakpastian seperti itu jarang merupakan hal yang baik dalam manipulasi atau analisis tabel. Kami akan memiliki ambiguitas yang sama jika hanya ada satu nilai Fr di Tabel Target, menciptakan hubungan banyak ke satu dari Sumber ke Target. Gabungan banyak-ke-satu atau banyak-ke-banyak harus dihindari, kecuali dalam serangkaian keadaan terbatas.

8.4.2 Kunci Asing

Kunci asing adalah item dalam tabel "anak" yang dapat digunakan untuk menautkan dengan benar ke baris di tabel "induk" lainnya. Nilai kunci asing dengan jelas mengidentifikasi baris dalam tabel induk. Sebagian besar contoh kita telah menggunakan kunci asing, dan berguna untuk mengidentifikasinya secara eksplisit saat mendesain dan menggunakan tabel sehingga kita dapat mempertahankan "integritas referensial", yaitu, memastikan kita dapat menggunakan kunci asing untuk bergabung dengan benar di antara tabel.

Kami sering menggunakan kunci utama dalam satu tabel untuk berfungsi sebagai kunci asing untuk tabel lain. Kode pos atau kode pos lainnya mungkin merupakan kunci utama untuk tabel geografi, dengan setiap baris dalam tabel terkait dengan poligon tertentu dalam layer data. Kode pos dapat ditambahkan ke tabel lain yang berisi karakteristik ekonomi untuk setiap poligon. Kami mungkin juga memiliki tabel lain dengan data populasi historis untuk setiap

kode pos. Kode pos dalam tabel ini dapat berfungsi sebagai kunci asing dalam gabungan ke tabel poligon. Sebagai contoh lain, toko dapat menggunakan pengenal suku cadang unik untuk menentukan jenis, ukuran, harga, dan pembuat suku cadang mobil tertentu, tetapi ID suku cadang tersebut juga dapat digunakan dalam tabel inventaris untuk mencatat berapa banyak yang tersedia, atau dalam tabel pesanan yang mencatat permintaan pelanggan. Tabel pesanan memiliki kunci utama yang berbeda, misalnya, nomor pesanan, tetapi juga menggunakan nomor bagian sebagai kunci asing.

8.4.3 Kunci Gabungan

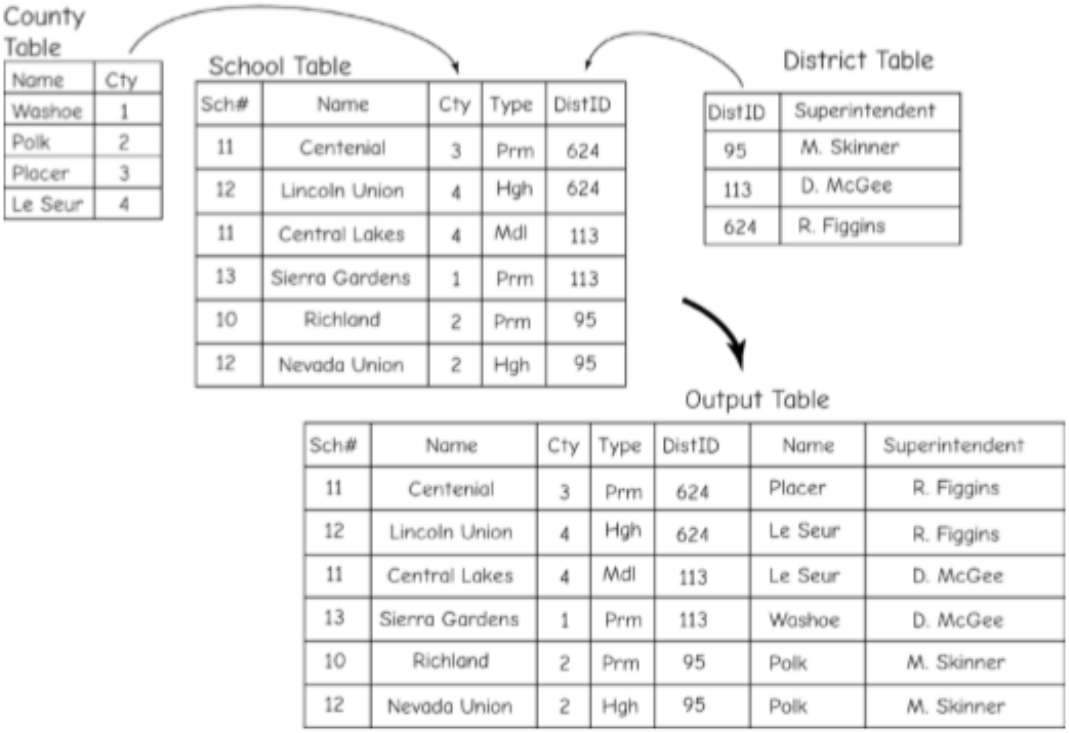
Sebagian besar contoh menunjukkan kunci yang terdiri dari satu kolom. Ini paling umum karena paling mudah untuk dibayangkan, dikelola, dan digunakan. Ini adalah ide di balik pengidentifikasi unik di banyak database, misalnya, nomor faktur untuk bisnis, nomor ID bagian unik untuk gudang, atau nomor aksesi museum. ID unik ini memungkinkan item unik diidentifikasi dengan mudah dalam tabel.

Meskipun pengidentifikasi satu kolom adalah yang paling umum, kami sering menggunakan beberapa kolom sebagai kunci. Ini sering digunakan ketika kita memiliki database multitabel yang besar yang ingin kita gabungkan dalam beberapa cara berbeda.

Ketika beberapa kolom digunakan sebagai kunci, itu disebut kunci gabungan. Kunci gabungan biasanya dibentuk oleh dua kolom, dan jarang lebih dari tiga kolom.

8.4.4 Gabungan Multitable

Kami mungkin memiliki lebih dari satu kunci potensial dalam sebuah tabel (ingat, kunci dapat terdiri dari satu atau lebih kolom), tetapi kami biasanya mendesain tabel dengan kunci utama. Kami juga dapat menggabungkan banyak tabel ke satu tabel, sering kali menggunakan item target yang berbeda untuk setiap gabungan.



Gambar 8.29 : Contoh penggabungan multi-tabel, berdasarkan kunci yang berbeda. Di sini, tabel County dan District digabungkan ke Tabel Sekolah, untuk membuat Tabel Output.

Gambar diatas menunjukkan contoh gabungan multitabel dengan kunci yang berbeda. Tabel Sekolah dapat dianggap sebagai tabel "dasar", dan dua tabel bernama Kabupaten dan Distrik digabungkan ke Tabel Sekolah untuk membuat Tabel Output.

Perhatikan bahwa kedua gabungan ini didasarkan pada item yang berbeda. Tabel Kabupaten digabungkan ke Tabel Sekolah berdasarkan nilai pada kolom berlabel Cty, sedangkan Tabel Distrik digabungkan ke Tabel Sekolah berdasarkan nilai yang terdapat pada kolom berlabel DistID. Tabel output kami ditampilkan di sini tanpa "salinan" kolom (misalnya, Cty dan DistID masing-masing hanya muncul sekali di Tabel Output), meskipun "salinan" sering ditampilkan.

Perhatikan bahwa gabungan adalah satu-ke-banyak dalam kedua kasus; satu dan hanya satu nilai di kolom sumber mungkin cocok dengan banyak nilai baris di kolom target. Perhatikan juga bahwa setiap item gabungan dalam tabel sumber adalah kunci— Cty di Tabel Kabupaten secara unik mengidentifikasi setiap kabupaten, dan DistID di Tabel Distrik secara unik mengidentifikasi setiap distrik. Seperti disebutkan sebelumnya, item sumber dalam gabungan sering kali merupakan kunci, yang secara unik mengidentifikasi baris dalam tabel sumber

8.5 Bentuk Normal dalam Database Relasional

8.5.1 Database — Apa yang dimaksud dengan "Relasional"

Apa yang telah Anda lihat sejauh ini adalah salah satu aspek dari RDB: tabel dua dimensi tempat Anda menyimpan entitas sebagai baris dan atribut sebagai kolom. Apa yang membuat database relasional menjadi pendekatan yang ampuh untuk menyimpan informasi? Satu jawaban terletak pada fakta bahwa RDB bisa lebih dari satu tabel. Biasanya sejumlah tabel yang terkait satu sama lain, seperti yang telah dibahas sebelumnya, memberikan efisiensi, fleksibilitas, dan kemudahan pembaruan.

Tabel 1-1 menggambarkan database yang mungkin dibuat oleh departemen perizinan kendaraan bermotor. Bagian dari database terhubung ke database lain yang dibentuk oleh departemen pemerintah lainnya. Tampak pada Tabel 1-1 adalah sembilan tabel database relasional; nama tabel RDB ada di baris paling atas; nama atribut ada di baris kedua. Tak satu pun dari puluhan ribu sel yang ditampilkan.

MASTER		
	Plate_#	Owner_ID

OWNER				
	Owner_ID	Name	Address	SSN

VEHICLE						
	Plate_#	Color	Model	Year	Type_code	VIN

VEH_TYPE						
	Type_Code	Weight	Length	Width	H_Power	Fuel_Cnsup

VOTERS				
	SSN	Name	Precinct_Code	Regis_Party

PRECINCT				
	Prec_Name	Location	Supervisor	**Precinct_Code**

ARRESTED						
	Name	Alias	SSN	Offense	Convicted	**Court_Doc_#**

ACCOUNTING			
	Plate_#	Date_Paid	Insurance_Co_Code

INSURERS				
	Insurance_Co_Code	Co_Name	Location	Phone

Di sini, terutama untuk tujuan ilustrasi, tabel MASTER berukuran sangat kecil, hanya terdiri dari nomor plat dan identifikasi pemilik. Kolom kunci, ditampilkan dengan huruf tebal, terdiri dari string karakter unik (tidak ada dua plat nomor yang sama) dan nomor identifikasi pemilik. Isi kolom kedua ini mungkin tidak unik, karena satu orang saya punya beberapa kendaraan.

Kedua bidang dalam MASTER merujuk ke — tautkan ke — delapan tabel lainnya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Plate_ # memungkinkan akses pengguna ke VEHICLE dan ACCOUNTING.

Tabel VEHICLE menjelaskan beberapa atribut mobil atau truk yang dimaksud. Karena beberapa aspek dari semua kendaraan pada tahun tertentu, model, dan pabrikannya identik, akan membuang-buang ruang dan menambah masalah untuk menempatkan informasi ini dalam catatan yang menjelaskan kendaraan tertentu. Jadi setiap record membawa Type_Code yang merujuk ke bidang kunci di tabel VEH_TYPE. Di sana Anda akan menemukan data berat, panjang, lebar, tenaga kuda, dan konsumsi bahan bakar kendaraan.

Tabel ACCOUNTING menunjukkan apakah pajak dan pendaftaran telah dibayar. Juga, berikut adalah referensi ke tabel INSURERS, yang membawa informasi tentang perusahaan yang mengasuransikan kendaraan di negara bagian.

Kolom lain di tabel MASTER berisi kode Owner_ID yang cocok dengan kunci di tabel OWNER. Tabel tersebut dapat berisi sejumlah informasi tentang pemilik kendaraan. Tampak pada tabel adalah nama dan alamat. Juga ada nomor Jaminan Sosial (SSN/social security number) pemilik. Mungkin ada upaya “pemilih motor” untuk mendaftarkan semua pemilik kendaraan. Dengan SSN, yang merupakan bidang kunci dalam tabel VOTERS, pengguna dapat menentukan pemilik mana yang telah terdaftar untuk memberikan suara. Selanjutnya, dengan Precinct_Code, informasi tentang lokasi tempat pemungutan suara dapat diperoleh.

Terakhir, SSN juga memungkinkan tautan ke tabel ARRESTED sehingga pengemudi dengan pelanggaran aktif atau mengemudi saat mabuk dapat diidentifikasi. Baik tabel VOTERS dan ARRESTED mungkin akan berada di beberapa departemen lain, jadi pemeliharaan tabel tersebut tidak akan jatuh ke Departemen Kendaraan Bermotor, tetapi DMV yang memiliki akses ke informasi tersebut.

Sebagian besar pemerintah dan organisasi memiliki teknik atau sistem yang luas dan mungkin canggih untuk menyimpan dan memanipulasi data yang dapat dirujuk oleh skema ini dan skema lainnya. Di sini, kami tertarik pada basis referensi yang cukup berguna yang belum dikembangkan secara ekstensif. Hal ini dapat dikenal sebagai: geografis, lokasi tanah, geodesi, atau posisi spasial.

8.5.2 Database dan Spreadsheet Relasional

Tabel database relasional mungkin terlihat sangat mirip dengan spreadsheet elektronik, seperti Microsoft Excel. Namun, ada beberapa perbedaan penting:

- Database relasional terstruktur, dengan baris dan kolom yang ditentukan secara ketat. Sedangkan, dalam spreadsheet, Anda bisa meletakkan apa saja di mana saja.
- Dalam database relasional, judul kolom tidak disimpan dalam sel database relasional. Judul kolom (nama atribut) diketahui oleh perangkat lunak database dan ditampilkan,

tetapi bukan merupakan bagian dari data. Sementara dalam spreadsheet, judul kolom menempati sel.

- Database relasional adalah objek logis yang dengannya dugaan dapat dibuat dan teorema dibuktikan. Seluruh cabang ilmu komputer dikhususkan untuk bisa bekerja menggunakan database relasional.

8.5.3 Kunci dan Ketergantungan Fungsional

Bagian sebelumnya harus menunjukkan kebutuhan untuk secara hati-hati menyusun tabel kita dalam database relasional, dan bahwa kunci dalam tabel sangat penting. Jika tabel relasional tidak dibangun dengan hati-hati, mereka dapat mengalami masalah serius dalam kinerja, konsistensi, redundansi, dan pemeliharaan. Data yang disimpan dalam tabel besar mungkin berlebihan atau dengan ruang yang terbuang, dan pencarian yang lama mungkin diperlukan untuk memilih kumpulan catatan kecil. Pembaruan pada tabel besar mungkin lambat, dan penghapusan catatan dapat mengakibatkan penghapusan data berharga dari database yang tidak diinginkan. Tabel yang lebih kecil dan dibuat dengan hati-hati biasanya lebih berguna.

Land Records table, unnormalized form

parcel-ID	Alderman	Tship-ID	Tship_name	Thall-add	Own-ID	Own_name	Own_add
2303	Johnson	12	Birch	15W	122	Devlin	123_pine
618	DeSilva	14	Grant	35E	457	Suarez	453_highland
9473	Johnson	12	Birch	15W	337	Yamane	72_lotus

Own-ID	Own_name	Own_add	Own-ID	Own_name	Own_add
337	Yamane	72_lotus	890	Prestovic	12_clayton
890	Prestovic	12_clayton	231	Sherman	64_richmond
-	-	-	-	-	-

Gambar 8.30 : Tanah mencatat data dalam bentuk yang tidak dinormalisasi. Tabel ditampilkan dalam dua bagian karena terlalu lebar untuk memuat seluruh halaman.

Perhatikan data pada Gambar diatas di mana catatan bangunan disimpan dalam satu tabel. Atribut termasuk Parcel-ID, Alderman, Tship-ID, Tship_name, Thall_add, OwnID, Own_name, dan Own_add. Beberapa informasi disimpan secara berlebihan, misalnya, mengubah Alderman untuk Tship-ID 12 akan memerlukan perubahan banyak baris; mengidentifikasi semua paket dengan Yamane sebagai pemilik akan membutuhkan pencarian semua catatan untuk beberapa kolom dalam tabel. Redundansi penyimpanan ini mahal karena memakan ruang disk dan karena setiap catatan tambahan menambah waktu pencarian dan akses. Masalah kedua datang dengan perubahan data. Misalnya, jika Devlin, Yamane, dan Prestovic menjual parsel yang mereka miliki bersama (baris data pertama), menghapus catatan parsel untuk Devlin akan menghapus database alamat dan riwayat pembayaran pajaknya. Jika data di Devlin ini diperlukan nanti, mereka harus dimasukkan kembali dari sumber eksternal.

Kami dapat menempatkan database relasional dalam bentuk normal untuk menghindari banyak masalah ini. Data disusun dalam bentuk normal yang lebih tinggi secara berurutan untuk meningkatkan kebenaran, konsistensi, kesederhanaan, nonredundansi, dan stabilitas. Ada beberapa tingkatan dalam hierarki bentuk normal, tetapi tiga tingkatan pertama, yang

dikenal sebagai bentuk normal pertama hingga ketiga, adalah yang paling umum. Data biasanya terstruktur secara berurutan, yaitu, pertama semua tabel dikonversi ke bentuk normal pertama, kemudian dikonversi ke bentuk normal kedua dan kemudian ketiga sesuai kebutuhan. Sebelum menjelaskan bentuk normal, kita harus memperkenalkan beberapa terminologi dan properti tabel relasional.

Seperti disebutkan sebelumnya, tabel relasional menggunakan kunci untuk mengindeks data. Ada berbagai jenis kunci. Kunci super adalah satu atau lebih atribut yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi secara unik setiap record (baris) untuk sebuah tabel. Sebuah subset dari atribut dari sebuah kunci super juga dapat menjadi sebuah kunci super, dan disebut sebagai kunci kandidat. Kunci utama untuk mengindeks tabel dipilih dari kumpulan kunci kandidat. Mungkin ada banyak kunci utama potensial untuk tabel tertentu; namun, biasanya hanya menggunakan satu kunci utama per tabel. Parcel-ID adalah kunci utama untuk tabel pada gambar, karena ID tersebut secara unik mengidentifikasi setiap baris dalam tabel.

Ketergantungan fungsional adalah konsep penting lainnya. Atribut-atribut dependen secara fungsional jika pada suatu titik waktu tertentu setiap nilai atribut dependen ditentukan oleh nilai atribut lain.

ID	Name	CNum	CType	Thread	Angle
1	Tec	3	M	12	45
2	Cap	1	E	14	20
3	Ext	2	M	12	22
4	Cap	1	M	12	18
5	Tec	3	E	14	20
6	Cap	1	E	14	22
7	Ext	2	Er	14	45

Gambar 8.31 : Contoh ketergantungan fungsional

Keterangan gambar :

Ketergantungan fungsional :
ID > Name, Cnum, Ctype, Thread, Angle
Cnum > Name (atau Name > Cnum)
Ctype > Thread

Gambar diatas mengilustrasikan konsep ketergantungan fungsional. Tabel berisi daftar bagian, dengan ID sebagai kunci utama, dan nama bagian, CNum, Ctype, Thread, dan atribut Angle. ID unik untuk setiap baris, dan menurut definisi, semua item lainnya secara fungsional bergantung pada ID. Jika kita mengetahui nilai ID adalah 1, maka kita mengetahui bagian Name adalah Tec. Kami menunjukkan ini seperti yang ditunjukkan,

ID -> Name

Kami juga melihat bahwa Nama secara fungsional bergantung pada CNum. Jika kita mengetahui nilai CNum, katakanlah, 2, kita tahu nilai Name akan sama dengan Ext. Kami melihat bahwa kebalikannya juga benar di sini, CNum juga secara fungsional bergantung pada

Nama. Perhatikan bahwa ini tidak selalu benar, seperti yang ditunjukkan untuk Ctype dan Thread.

CType -> Thread adalah benar,

tapi

Thread -> CType tidak benar

Mengapa? Karena untuk nilai Thread sama dengan 14, CType dapat berupa E atau Er, melanggar definisi ketergantungan fungsional kita.

Dalam contoh kita pada Gambar sebelumnya, kita mungkin mengetahui bahwa Own_add secara fungsional bergantung pada Own_name. Dengan kata lain, setiap pemilik hanya dapat memiliki satu alamat residen, misalnya, kami tidak mengizinkan entri alamat residen kedua. Oleh karena itu, untuk Own_name yang diberikan, misalnya, Prestovic, Own_add ditentukan. Dengan cara yang sama, hanya ada satu nama Township, Tship_name, untuk setiap alamat Town Hall, Thall-add, atau

Own_name -> Own_add
Tship_name -> Thall-add

Ingat, ini menunjukkan bahwa Own_add secara fungsional bergantung pada Own_name, dan Thall-add secara fungsional bergantung pada Tship_name. Kita harus selalu ingat bahwa ketergantungan fungsional ini adalah sesuatu yang kita tegakkan. Kecuali kami menempatkan pengamanan selama entri dan manipulasi data, kami dapat mengubah data sehingga kami "mematahkan" ketergantungan fungsional, misalnya, dengan menambahkan alamat pemilik kedua untuk nama pemilik.

Dependensi fungsional adalah transitif, jadi jika A -> B, dan B -> C, maka A -> C. Notasi ini berarti bahwa jika B bergantung secara fungsional pada A, dan C bergantung secara fungsional pada B, maka C bergantung secara fungsional pada SEBUAH.

Sementara desain database relasional fleksibel, penggunaan kunci dan dependensi fungsional membatasi tabel relasional:

- Tidak ada record yang diulang, yaitu tidak boleh ada dua baris atau lebih yang semua atributnya sama.
- Harus ada kunci utama dalam sebuah tabel. Kunci ini memungkinkan setiap record untuk diidentifikasi secara unik.
- Tidak ada anggota kolom yang merupakan bagian dari kunci utama dapat memiliki nilai nol. Ini akan memungkinkan beberapa catatan yang tidak dapat diidentifikasi secara unik oleh kunci utama.

8.5.4 Bentuk Normal Pertama dan Kedua

Kami mulai membuat tabel dalam bentuk normal dengan terlebih dahulu mengumpulkan semua data kami, seringkali dalam satu tabel. Bentuk normal biasanya menghasilkan banyak tabel yang kompak dan tertaut, sehingga sangat umum untuk membagi tabel karena database dinormalisasi, atau ditempatkan dalam bentuk normal. Setelah normalisasi, tabel memiliki sistem pengindeksan yang mempercepat pencarian dan mengisolasi nilai untuk pembaruan.

Land Records table, unnormalized form

parcel-ID	Alderman	Tship-ID	Tship_name	Thall-add	Own-ID	Own_name	Own_add
2303	Johnson	12	Birch	15W	122	Devlin	123_pine
618	DeSilva	14	Grant	35E	457	Suarez	453_highlar
9473	Johnson	12	Birch	15W	337	Yamane	72_lotus

Own-ID	Own_name	Own_add	Own-ID	Own_name	Own_add
337	Yamane	72_lotus	890	Prestovic	12_clayton
890	Prestovic	12_clayton	231	Sherman	64_richmond
-	-	-	-	-	-

Land Records table, first normal form (1NF)

parcel-ID	Alderman	Tship-ID	Tship_name	Thall-add	Own-ID	Own_name	Own_add
2303	Johnson	12	Birch	15W	122	Devlin	123_pine
2303	Johnson	12	Birch	15W	337	Yamane	72_lotus
2303	Johnson	12	Birch	15W	890	Prestovic	12_clayton
618	DeSilva	14	Grant	35E	457	Suarez	453_highland
618	DeSilva	14	Grant	35E	890	Prestovic	12_clayton
618	DeSilva	14	Grant	35E	231	Sherman	64_richmond
9473	Johnson	12	Birch	15W	337	Yamane	72_lotus

Gambar 8.32 : tabel relasional dalam bentuk tidak normal (atas) dan normal pertama (bawah).

Tabel dengan pengelompokan berulang, seperti pada tabel di bagian atas Gambar tidak dinormalisasi. Grup berulang ada dalam tabel relasional ketika atribut diizinkan memiliki lebih dari satu nilai yang diwakili dalam satu baris. ID Pemilik berulang untuk tempat tinggal dengan banyak pemilik.

Sebuah tabel berada dalam bentuk normal pertama ketika tidak ada kolom berulang. Tabel Catatan Tanah di bagian bawah gambar telah dinormalisasi dengan menempatkan setiap pemilik ke dalam baris terpisah. Ini adalah tabel dalam bentuk normal pertama (1NF), karena setiap kolom hanya muncul satu kali dalam definisi tabel. A 1NF adalah level paling dasar dari normalisasi tabel. Namun, struktur tabel 1NF masih mengalami redundansi penyimpanan yang berlebihan, pencarian yang tidak efisien, dan potensi kehilangan data saat memperbarui. Bentuk normal pertama memiliki keunggulan dibandingkan tabel yang tidak dinormalisasi karena kueri lebih mudah dikodekan dan diimplementasikan. Tabel dalam 1NF biasanya dikonversi ke bentuk normal orde tinggi, biasanya setidaknya menjadi bentuk normal ketiga, 3NF, tetapi sangat berguna untuk memahami bentuk normal kedua sebelum menjelaskan tabel 3NF.

Suatu tabel berada dalam bentuk normal kedua (2NF) jika berada dalam bentuk normal pertama dan setiap atribut bukan kunci hanya bergantung secara fungsional pada kunci utama, atau pada dependensi fungsional transitif dari kunci utama. Ingat bahwa ketergantungan fungsional berarti mengetahui nilai untuk satu atribut dari suatu record secara otomatis menentukan nilai untuk atribut yang bergantung secara fungsional. Atribut non-kunci mungkin secara langsung bergantung pada kunci utama melalui beberapa ketergantungan fungsional, atau mereka mungkin bergantung melalui ketergantungan transitif. Tabel Catatan Tanah di 1NF di bagian bawah gambar hanya memiliki satu kemungkinan kunci utama, gabungan dari Parcel-ID dan Own-ID. Tidak ada kombinasi lain yang secara unik mengidentifikasi setiap baris. Namun, tabel ini tidak dalam bentuk normal kedua karena

memiliki atribut non-key yang tidak hanya bergantung secara fungsional pada atribut primary key. Misalnya, Tship_name dan Thall_add secara fungsional bergantung pada Tship-ID.

Tabel Catatan Tanah di bagian bawah gambar diulang di bagian atas gambar dibawah ini. Tabel ini menunjukkan kelemahan utama dari bentuk normal pertama. Parcel-ID, Alderman, dan Tship-ID diduplikasi ketika ada beberapa pemilik parsel, menyebabkan redundansi data yang memberatkan. Setiap kali catatan ini diperbarui, misalnya ketika seorang Alderman baru dipilih, data harus diubah untuk setiap catatan duplikat. Jika sebuah parsel berpindah tangan dan penjual tidak memiliki parsel lain yang terwakili dalam tabel, maka informasi tentang penjual akan hilang.

Beberapa kelemahan ini dapat dihilangkan dengan mengubah tabel bentuk normal pertama menjadi kelompok tabel bentuk normal kedua. Untuk membuat tabel bentuk normal kedua, kami membuat setiap atribut non-kunci sepenuhnya bergantung pada kunci utama di tabel baru. Perhatikan bahwa tabel 1NF akan sering dipecah menjadi dua atau lebih tabel saat mengonversi ke 2NF, dan setiap tabel baru akan memiliki kuncinya sendiri. Atribut non-kunci apa pun di tabel baru akan bergantung pada kunci utama. Bagian bawah Gambar dibawah ini menunjukkan Catatan Tanah kami yang dikonversi ke bentuk normal kedua. Masing-masing dari tiga tabel dalam bentuk normal kedua mengisolasi ketergantungan fungsional yang diamati, sehingga setiap tabel dan ketergantungan akan dijelaskan secara bergantian.

Tabel catatan tanah, bentuk normal pertama (1NF)

parcel-ID	Alderman	Tship-ID	Tship_name	Thall-add	Own-ID	Own_name	Own_add
2303	Johnson	12	Birch	15W	122	Devlin	123_pine
2303	Johnson	12	Birch	15W	337	Yamane	72_lotus
2303	Johnson	12	Birch	15W	890	Prestovic	12_clayton
618	DeSilva	14	Grant	35E	457	Suarez	453_highland
618	DeSilva	14	Grant	35E	890	Prestovic	12_clayton
618	DeSilva	14	Grant	35E	231	Sherman	64_richmond
9473	Johnson	12	Birch	15W	337	Yamane	72_lotus

Given functional dependencies:

Parcel-ID → Alderman, Tship-ID
Tship-ID → Tship_name, Thall_add
Own-ID → Own_name, Own_add

Tabel catatan tanah, bentuk normal kedua (2NF)

Land Records Table 1

parcel-ID	Alderman	Tship-ID	Tship_name	Thall-add
2303	Johnson	12	Birch	15W
618	DeSilva	14	Grant	35E
9473	Johnson	12	Birch	15W

Land Records Table 2

Own-ID	Own_name	Own_add
122	Devlin	123_pine
337	Yamane	72_lotus
890	Prestovic	12_clayton
457	Suarez	453_highland
231	Sherman	64_richmond

Land Records Table 3

parcel-ID	Own-ID
2303	122
2303	337
2303	890
618	457
618	890
618	231
9473	337

Gambar 8.33: Data kepemilikan, konversi ke formulis normal kedua

Bagaimana kita secara sistematis menerapkan kriteria ini bahwa atribut non-kunci secara fungsional hanya bergantung pada kunci utama, secara langsung atau melalui ketergantungan fungsional transitif? Kita harus 1) menentukan kunci utama, 2) mengidentifikasi dependensi fungsional utama, dan 3) memproyeksikan tabel 1NF di seluruh kolom kunci dan dependensi

Pertama, kita harus mengidentifikasi kunci utama. Dalam contoh kita di sini, kunci utama yang paling sederhana adalah kunci (bersambung) yang merupakan kombinasi dari Parcel-ID dan Owner-ID. Jika kunci utama kami adalah satu item maka tabel sudah dalam 1NF menurut definisi, karena semua atribut non-kunci akan bergantung pada kunci utama. Namun, jika kunci utama kami lebih dari satu kolom, kami mungkin memiliki pekerjaan lebih lanjut untuk mengkonversi ke 2NF, dengan fokus pada ketergantungan pada komponen kunci utama.

Langkah kedua kami adalah mengidentifikasi dependensi fungsional. Kami tahu bahwa parsel hanya terjadi di satu kotapraja, dan bahwa setiap kotapraja memiliki Tship-ID unik, Tship_name unik, Thall_add unik, dan satu Alderman. Ini berarti bahwa jika kami telah mengidentifikasi parsel dengan Parcel-ID-nya, Alderman Tship-ID, Tship_name, dan Thall_add diketahui. Kami menetapkan pengenal unik untuk setiap bidang tanah, dan Alderman, Tship_name, dan Thall_add semuanya bergantung pada pengenal ini. Ini berarti jika kita mengetahui pengidentifikasi paket, kita mengetahui nilai-nilai yang tersisa ini. Seperti itu penjelasan definisi sebenarnya dari kata ketergantungan fungsional. Kami mewakili dependensi fungsional ini dengan:

Parcel-ID -> Alderman
Parcel-ID -> Tship-ID
Parcel-ID -> Tship_name
Parcel-ID -> Thall_add

Ketergantungan fungsional ini tergabung dalam tabel bernama Catatan Tanah 1 pada gambar.

Kedua, perhatikan bahwa setelah Own-ID ditentukan, Own_name dan Own_add ditentukan. Setiap pemilik memiliki pengenal unik dan hanya satu nama (alias tidak diperbolehkan). Juga, setiap pemilik hanya memiliki satu alamat rumah permanen. Own_name dan Own_add secara fungsional bergantung pada Own-ID. Ketergantungan fungsional adalah:

Identitas Diri -> Nama_sendiri
ID Sendiri -> Own_add

Parcel-ID dan Own-ID disebut dependensi fungsional parsial, karena meskipun keduanya bergantung pada kunci utama, mereka tidak bergantung satu sama lain. Jika saya memiliki Parcel-ID yang unik, saya mengetahui informasi tambahan tentang beberapa kolom untuk setiap baris dalam tabel, tetapi tidak semua kolom. Jika saya tahu Own-ID, saya juga tahu nilai dari sekumpulan kolom, tapi sekali lagi, tidak semua. Ketika kami memiliki kunci yang digabungkan, kami harus mengidentifikasi ini dalam data kami, dan mereka memandu kami tentang cara membagi tabel kami lebih lanjut.

Bagaimana kita bisa sampai ke 2NF? Dengan memproyeksikan tabel 1NF di seluruh kunci utama dan dependensi fungsional. Ingat, proyek hanyalah cara untuk mengatakan bahwa kita mensubset kolom, di sini dipandu oleh dependensi fungsional. Ketergantungan fungsional parsial ini direpresentasikan dalam tabel Catatan Tanah 1 dan Catatan Tanah 2.

Akhirnya, perhatikan bahwa kita perlu mengikat pemiliknya ke parsel. Hubungan ini disajikan dalam tabel Catatan Tanah 3 pada Gambar 8-26. Perhatikan bahwa beberapa parsel dimiliki bersama, sehingga ada beberapa ID pemilik untuk setiap parsel.

Tiga tabel Catatan Tanah 1 sampai 3 memenuhi kondisi bentuk normal kedua. Bentuk normal kedua menghilangkan beberapa redundansi yang terkait dengan 1NF. Perhatikan bahwa redundansi dalam menyimpan informasi tentang Alderman, Tship-ID, Tship_name, dan Thall_add telah berkurang secara signifikan, dan redundansi minor di Own_name juga telah dihapus. Mengedit tabel menjadi lebih mudah; misalnya, perubahan dalam Alderman memerlukan modifikasi catatan yang lebih sedikit. Akhirnya, penghapusan parsel tidak memiliki efek samping menghapus informasi tentang pemilik, Own-ID, Own_name, dan Own_add.

8.5.5 Bentuk Normal Ketiga

2NF masih mengandung masalah, meskipun kecil dibandingkan dengan tabel di 1NF. Mereka masih dapat menderita ketergantungan fungsional transitif. Jika ketergantungan fungsional transitif ada dalam sebuah tabel, maka ada rantai ketergantungan. Ketergantungan transitif terjadi pada tabel contoh kami bernama Catatan Tanah 1. Perhatikan bahwa Parcel-ID menentukan Tship-ID, dan TshipID menentukan Tship_name dan Thall_add. Dalam notasi dependensi fungsional kami:

Parcel-ID -> Tship-ID

dan

Tship-ID -> Tship_name, Thall_add, Alderman

Ini menyebabkan masalah saat kami menghapus paket dari database. Untuk menghapus parsel, kita menghapus parsel dari tabel Catatan Tanah 1 dan Catatan Tanah 3. Dengan demikian kita mungkin juga kehilangan hubungan antara Tship-ID, Tship_name, Thall_add, dan Alderman. Untuk menghindari masalah ini, kita perlu mengonversi tabel ke bentuk normal ketiga.

Sebuah tabel berada dalam bentuk normal ketiga (3NF) jika dan hanya jika untuk setiap ketergantungan fungsional A -> B, A adalah kunci super, atau B adalah anggota dari kunci kandidat. Persyaratan ini berarti kita harus mengidentifikasi dependensi fungsional transitif dan menghapusnya, biasanya dengan memisahkan tabel yang memuatnya. Tabel Catatan Tanah 2 dan Catatan Tanah 3 pada Gambar 8-26 sudah ada dalam 3NF, karena kunci untuk tabel ini adalah kunci super. Owner-ID secara unik mengidentifikasi sisa baris di Land Records 2, dan kunci gabungan dari Parcel-ID dan Tship-ID adalah baris di Land Records 3.

Namun, tabel Catatan Tanah 1 tidak dalam 3NF karena dependensi fungsional untuk tabel Catatan Tanah 1 adalah:

Parcel-ID -> Tship-ID

Tship-ID -> Tship_name, Thall_add, Alderman

Tship-ID bukan kunci super untuk tabel, begitu pula Tship_name dan Thall_add anggota kunci kandidat utama untuk tabel itu. Menghapus ketergantungan fungsional transitif dengan

memisahkan tabel akan membuat dua tabel baru, yang masing-masing memenuhi kriteria untuk 3NF.

Gambar diatas berisi tabel Catatan Tanah 1a dan Catatan Tanah 1b, keduanya sekarang memenuhi kriteria 3NF, dan menyimpan informasi yang terkandung dalam tabel 1NF. Perhatikan bahwa Parcel-ID sekarang menjadi kunci super untuk Tabel 1a dan Tship-ID adalah kunci super untuk Tabel 1b, sehingga kriteria 3NF terpenuhi.

Tujuan umum dalam mendefinisikan struktur database relasional adalah untuk memiliki tabel sesedikit mungkin yang berisi hubungan penting dan memiliki semua tabel dalam setidaknya 3NF. Bentuk normal lebih tinggi dari tiga telah dijelaskan dan memberikan keuntungan lebih lanjut; namun, bentuk-bentuk yang lebih tinggi ini seringkali lebih terbatas dalam penerapannya dan bergantung pada tujuan penggunaan database.

Sementara tabel relasional dalam bentuk normal memiliki karakteristik berguna tertentu, mereka mungkin mengalami waktu akses yang relatif lama untuk kueri tertentu. Database dapat diatur di sekitar penggunaan, atau didenormalisasi untuk proses yang paling umum. Denormalisasi ini biasanya menambahkan kolom tambahan atau gabungan permanen ke struktur database. Ini dapat menambah redundansi atau memindahkan tabel ke bentuk normal yang lebih rendah, tetapi kelemahan ini sering memungkinkan keuntungan yang signifikan dalam kecepatan pemrosesan. Kebutuhan untuk mendenormalisasi tabel telah berkurang dengan peningkatan daya komputasi. Namun, denormalisasi mungkin diperlukan untuk database yang sangat besar, atau di mana kecepatan akses sangat penting.

Land records, third normal form

Land Records 1a

FD: Parcel-ID → Tship-ID

Parcel-ID	Tship-ID
2303	12
618	14
9473	12

Land Records 1b

FD: Tship-ID → Tship_name, Thall_add, Alderman

Tship-ID	Tship_name	Thall_add	Alderman
12	Birch	35W	Johnson
14	Grant	35E	DeSilva

Land Records 2

FD: Own-ID → Own_name, Own_add

Own-ID	Own_name	Own_add
122	Devlin	123_pine
337	Yamane	72_lotus
890	Prestovic	12_clayton
457	Suarez	453_highland
231	Sherman	64_richmond

Land Records 3

No Functional Dependencies

Parcel-ID	Own-ID
2303	122
2303	337
2303	890
618	457
618	890
618	231
9473	337

Gambar 8.34 : Data kepemilikan dalam bentuk normal ketiga, dengan dependensi fungsional (FD) dicatat di bagian atas tabel.

8.6 Analisis Spasial dan Sintesis menggunakan GIS

8.6.1 Perangkat Keras Komputer

Informasi di bagian ini dimaksudkan untuk menjelaskan komputer bagi Anda. Saat kekuatan komputer meningkat—dengan kemampuan seperti pengenalan suara dan wajah serta permainan catur kejuaraan—kecenderungannya adalah menganggap komputer pada dasarnya tidak dapat dipahami. Karena struktur logis mendasar di balik pengoperasian komputer cukup sederhana, saya percaya pemahaman seperti itu harus menjadi bagian dari basis pengetahuan mahasiswa. Ini tidak terlalu sulit, dan Anda mungkin menganggapnya menarik. Dan pengetahuan ini dapat membantu Anda untuk mengetahui mengapa terjadi kesalahan saat Anda menggunakan komputer untuk mengerjakan proyek GIS.

Penyegaran: Semua operasi komputer didasarkan pada konsep bahwa kombinasi status biner dapat mewakili informasi. Status biner dapat berupa: aktif atau nonaktif; A atau B; terikat atau tidak terikat; ya atau tidak; ada atau tidak ada. Biasanya, kita menyajikan kedua keadaan itu dengan BInary digiTS (BITS). Dengan ini komputer melakukan tiga hal:

- String 0 dan 1 dimasukkan (input) ke mesin dan ditempatkan secara elektronik ke dalam "penyimpanan" atau "memori".
- Bit dari penyimpanan dimanipulasi sesuai dengan sejumlah aturan yang tepat (operasi aritmatika membuat subset berukuran bagus dari aturan tersebut), dan hasil manipulasi tersebut ditempatkan kembali ke dalam penyimpanan.
- String 0s dan 1s dikirim dari penyimpanan ke perangkat output.
- Itu dia! Segala sesuatu yang lain hanyalah penjabaran dari tema dasar ini.

Mengapa keadaan biner? Karena, di dunia fisik, lebih mudah untuk mengidentifikasi keberadaan (1) atau ketiadaan (0) dari sesuatu daripada mengidentifikasi sejauh mana sesuatu itu ada. Misalnya, mudah untuk mengetahui dengan melihat bola lampu apakah sakelar yang memberi makan bola lampu menyala atau mati (yaitu, apakah sakelar yang mengontrolnya disetel ke 1 atau 0). Tidak mudah untuk mengetahui, dengan melihat kecerahan bohlam, posisi (misalnya, 1, 2, 3, atau 4) yang disetel peredup bohlam (rheostat).

8.6.2 Input

Saat Anda menekan dan menahan tombol Shift dan kemudian menekan tombol K pada keyboard komputer, rangkaian bit 2 dikirim ke komputer. Saat Anda menggerakkan perangkat penunjuk mouse, urutan bit dikirim ke komputer. Saat Anda berbicara ke mikrofon yang terpasang ke kartu suara komputer Anda, serangkaian bit dihasilkan oleh kartu suara (juga komputer, omong-omong) dan berakhir di penyimpanan komputer.

8.6.3 Representasi

Agar komputer dapat melakukan komputasi seperti yang dilakukan manusia, komputer harus merepresentasikan bilangan desimal (basis sepuluh) dalam biner (basis dua). Berikut adalah beberapa bilangan desimal dan ekuivalen binernya:

Base Ten	*Base Two*
0	00000
1	00001
2	00010
3	00011
4	00100
5	00101
6	00110
7	00111
8	01000
9	01001
10	01010
11	01011
12	01100
13	01101
14	01110
15	01111
16	10000

Gambar 8.35 *(Base Ten Base Two*)

Diberikan angka dalam basis sepuluh, Anda dapat menafsirkannya dengan cara ini: Mulai dari kanan dan menjumlahkan nilainya, posisi pertama mewakili jumlah 1s, posisi kedua mewakili jumlah 10s, posisi ketiga jumlah 100s, keempat jumlah 1000-an, dan seterusnya. Jadi angka 342 artinya penjumlahan: 2 dikalikan 1, ditambah 4 dikali 10, ditambah 3 dikali 100, yaitu 342.

Sistem bilangan biner pada dasarnya sama, tetapi jauh lebih sederhana. Bila Anda memiliki angka di basis dua, itu dapat ditafsirkan dengan cara ini: Mulai dari kanan, posisi bit pertama mewakili jumlah 1s, posisi bit kedua mewakili jumlah 2s, posisi ketiga jumlah 4s, keempat jumlah 8s, dan seterusnya dan seterusnya, dua kali lipat setiap kali Anda memindahkan posisi ke kiri. Bilangan biner 01110 mewakili bilangan desimal empat belas, dihitung sebagai berikut: jumlah nol dikali 1, ditambah satu kali 2, ditambah satu kali 4, ditambah satu kali 8, ditambah nol kali 16, yaitu 14.

8.6.4 Komputasi

Untuk contoh sederhana komputasi komputer, pikirkan suatu penjumlahan. Tabel untuk memberikan hasil penjumlahan dua bilangan biner cukup sederhana, dibandingkan dengan tabel penjumlahan bilangan desimal. Lihat berikut:

0 + 0 = 0
0 + 1 = 1
1 + 0 = 1
1 + 1 = 0 (dengan carryover ke kolom berikutnya ke sebelah kiri)

Agar komputer menjumlahkan dua angka bersama-sama, katakanlah, bilangan bulat 3 dan 11, komputer memilikinya di penyimpanannya sebagai 00011 dan 01011. Jadi:

$$\begin{array}{r} 00011 \\ +\ 01011 \\ \hline 01110 \end{array}$$

Yang paling mendasar, unit pusat pemrosesan (CPU/central processing unit) dari komputer dapat

1. Menambah, mengurangi, mengalikan, membagi, dan seterusnya, dari dua urutan bit
2. Bandingkan satu urutan bit dengan yang lain untuk menentukan apakah mereka sama, atau apakah salah satu secara numerik lebih besar dibanding yang lain. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, komputer dapat mulai mengeksekusi satu set instruksi, atau satu set instruksi lainnya.

CPU memiliki kemampuan lain, tetapi ini adalah yang utama. (Sebagian besar kemajuan, dan kerumitan, dalam komputasi—dan mengapa tampaknya begitu ajaib) berasal dari kemampuan untuk mentransfer bit dari mesin ke mesin secara nirkabel, dari antarmuka pengguna grafis, dari komputasi paralel, dan menyimpan sebagian hasil (caching). Dan kemudian ada seni menempatkan transistor pada sebuah chip: 4000 di antaranya dalam ruang selebar rambut manusia.

8.6.5 Output

Saat Anda melihat gambar berwarna pada layar monitor komputer, gambar itu terdiri dari, kira-kira, sejuta titik kecil—disebut piksel (elemen gambar)—warna yang masing-masing dikontrol oleh, katakanlah, 32 bit. Tiga puluh dua bit memungkinkan sejumlah besar kombinasi, sehingga banyak nuansa warna dapat disajikan. Saat Anda mendengar musik yang datang dari speaker komputer Anda, suara dihasilkan oleh string bit yang mengirimkan impuls ke kerucut speaker pada frekuensi yang berbeda-beda—sama seperti suara dari CD yang dihasilkan oleh bit: Sebuah lubang di permukaan CD adalah “ 1” bit, sementara tidak ada lubang adalah bit “0”. Ada atau tidaknya lubang di CD ditentukan oleh sinar laser di pembaca CD.

(Anda dapat membedakan teknologi ini, yang disebut "digital," dengan teknologi lain, yang disebut "analog", di mana elemen-elemennya tidak terbatas pada dua keadaan, 0 dan 1, tetapi, seperti yang dibahas sebelumnya, mungkin memiliki lebih banyak lagi. Contoh dari sistem analog adalah rekaman musik pada piringan vinil, di mana rumpun goyang di disk menciptakan goyangan yang setara di corong speaker.)

Mengapa Anda perlu mengetahui hal-hal yang agak misterius ini? (“Hei, saya hanya ingin mobil itu melaju ketika saya menginjak pedal gas dan berhenti ketika saya menginjak rem. Saya tidak peduli apa yang membuatnya terjadi.”) Anda harus tahu karena “dunia nyata” adalah campuran fenomena kontinu (air mengalir di sungai) dan fenomena diskrit (jumlah orang yang tinggal di distrik sekolah). Komputer hanya dapat menyimpan nilai diskrit. Oleh karena itu, hasil dari analisis data GIS yang berasal dari penyimpanan dan manipulasi komputer mungkin salah—dengan jumlah yang dapat memberi perbedaan penting.

8.6.6 Fenomena Kontinu dan Diskrit

Untuk pembahasan ini Anda harus berpikir agak abstrak. Pertimbangkan sistem apa pun yang Anda suka. Pada saat yang berbeda dalam waktu, elemen sistem dapat dicirikan oleh kondisi yang tepat, atau "keadaan." Keadaan dapat dilihat sebagai nilai dari sekumpulan variabel, yang dapat (secara praktis atau teoritis) diukur. Kita dapat membicarakan variabel-variabel tersebut sebagai independen atau dependen. Misalnya, jika subjek yang dipertimbangkan adalah elevasi permukaan bumi. Elevasi suatu titik dapat dijelaskan oleh variabel terikat

"ketinggian di atas permukaan laut" berdasarkan variabel bebas "koordinat posisi" (misalnya, lintang dan bujur) dan "waktu." Istilah independen dan dependen sedikit menyesatkan, karena sebab dan akibat disarankan, di mana tidak ada. Idenya adalah, lebih tepatnya, bahwa kita (secara independen) menentukan tempat dan waktu, yang sesuai dengan ketinggian tertentu. Jawabannya tergantung pada spesifikasinya, tetapi tempat dan waktu tidak menyebabkan ketinggian.

(Saya harus mengatakan di sini bahwa perbedaan antara fenomena diskrit dan kontinu telah banyak menjadi sumber perdebatan dalam filsafat, matematika, dan fisika selama berabad-abad. Lihat, misalnya, Paradoks Zeno (cek internet). Pada ukuran yang sangat kecil, suatu campuran kontinu dan diskrit berlaku untuk banyak fenomena radiasi elektromagnetik (misalnya, cahaya) datang baik dalam paket (objek diskrit) dan gelombang (fenomena kontinu). Secara teori, setiap benda yang bergerak diasosiasikan dengan gelombang, yang disebut gelombang de Broglie. Ini berlaku terutama untuk partikel subatom (misalnya, elektron), tetapi orang dapat menghitung frekuensi gelombang de Broglie untuk sebuah SUV yang bergerak dengan kecepatan 30 mil per jam. Kita tidak akan melakukannya. Sebaliknya, maksud saya di sini adalah untuk mengilustrasikan perbedaan antara kontinu dan diskrit di dunia praktis seukuran manusia.)

Jadi, suatu sistem (fenomena) dapat dianggap terdiri dari (atau berada di) keadaan tertentu pada waktu tertentu. Berikut ini adalah beberapa contohnya.

Diskrit: Permainan catur memiliki bidak masing-masing pemain di kotak papan tertentu setelah gerakan tertentu. Tidak masalah, dalam hal permainan, di mana dalam kotak ada satu bidak. Ketika bidak terakhir dipindahkan, jalur yang ditempuh atau lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan tidak ada konsekuensinya.

Kontinu: Bola bilyar di atas meja, pada saat tertentu, memiliki posisi tertentu. Ketika bergerak, kecepatan, percepatan, sentakan, arah, dan seterusnya, sangat penting untuk hasil posisi akhir, dan posisi akhir bola lainnya. Perbedaan terkecil dalam posisi, kecepatan, dan putaran dapat membuat perbedaan besar apakah bola jatuh ke dalam lubang atau tidak.

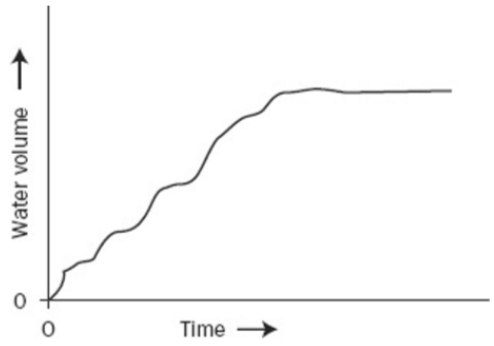
Fenomena berkelanjutan ditandai dengan hal-hal berikut:

1. Adanya jumlah keadaan yang tidak terbatas pada variabel bebas, misalnya waktu.
2. Ada perbedaan yang terbatas tetapi sangat kecil (tak terhingga) antara nilai-nilai variabel independen, namun paling banyak ada perbedaan yang sangat kecil dalam satu atau lebih variabel dependen. (Bola tenis yang diservis akan sedikit berubah posisinya dalam sepersekian detik.)
3. Tidak peduli seberapa hati-hati pengukuran dilakukan, keadaan sistem tidak pernah dapat ditentukan dengan tepat.

Fenomena diskrit dicirikan oleh hal-hal berikut:

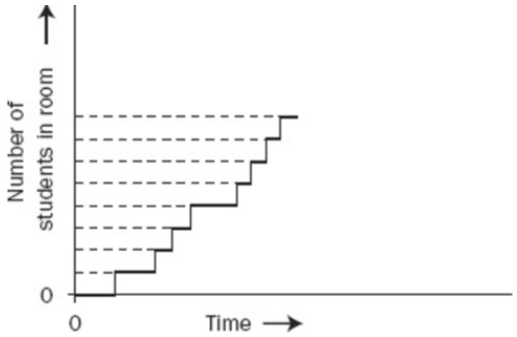
- Jumlah status yang terbatas (Hanya ada beberapa kombinasi bidak dalam posisi di papan catur.)
- Perbedaan terkecil yang mungkin dalam variabel independen dapat menghasilkan perbedaan yang signifikan antarkeadaan. (Jika “nomor gerakan” bertambah satu, posisi bidak di papan catur akan berada dalam keadaan yang sangat berbeda.)
- Keadaan pasti dari sistem dapat ditentukan.

Untuk lebih menggambarkan perbedaan antara fenomena kontinu dan diskrit, mari kita lihat grafik masing-masing. Gambar ini mungkin mengilustrasikan jumlah air di bak cuci dengan sumbat saat diisi dari keran, menggunakan waktu sebagai variabel bebas. Perhatikan keterhubungan garis.



Gambar 8.36a Fenomena kontinu

Gambar ini menunjukkan jumlah siswa “di” kelas saat mereka masuk beberapa menit sebelum kelas dimulai. Karena siswa datang bersamaan, Anda melihat lompatan dalam grafik.



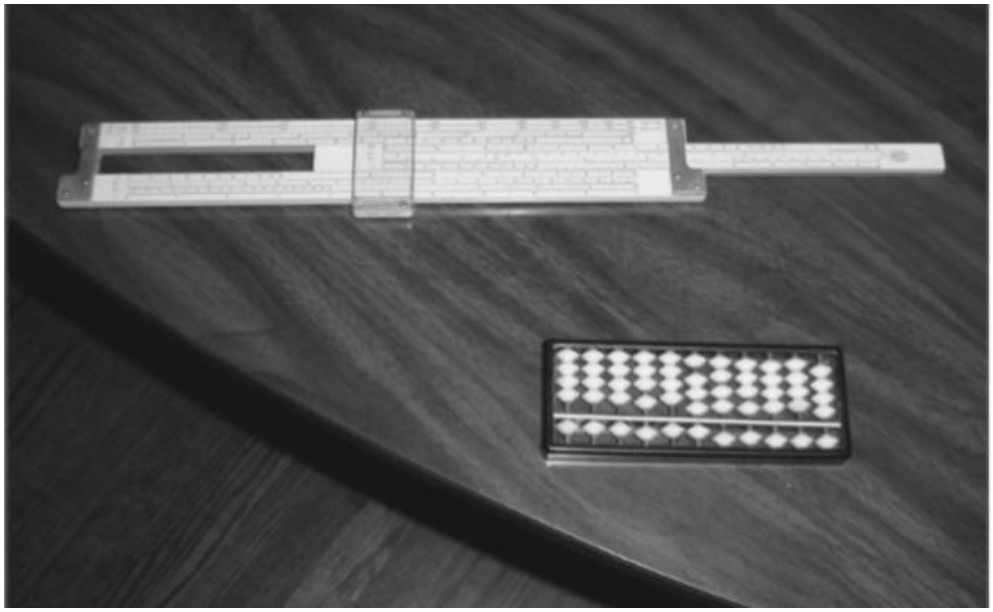
Gambar 8.36b Fenomena diskrit

Dengan fenomena diskrit, ketepatan adalah sesuatu yang mungkin. Dengan fenomena kontinu, tidak. Sebuah keranjang mungkin berisi tepat delapan telur. Sebuah bak mandi tidak dapat berisi tepat delapan liter air.

Tabel ini menunjukkan beberapa contoh fenomena kontinu dan fenomena diskrit. Kita mungkin berdebat tentang beberapa kategorisasi. Selanjutnya, fenomena diskrit mungkin memiliki bagian kontinu dan sebaliknya. Tapi Anda mungkin akan mendapatkan pemahaman itu dari daftar berikut.

Beberapa Fenomena Berkelanjutan:	Beberapa Fenomena Diskrit
Lereng	Langkah
Air (Cairan)	Es batu
Waktu	Hari
Bilangan asli	Bilangan bulat, bilangan rasional
Representasi musik—piringan vinil LP	Representasi musik—compact disc
Penampilan music	Skor music
Ekspresi wajah	Kedipan
Tanah miring	Sengkedan

Orak-arik telur	Telur rebus
Ping-Pong	Permainan dam
Makna	Kata-kata
Jam tangan analog	Jam tangan digital
Sampah kolam	Orang
Gas beracun	Peluru
Penggerak orang tipe sabuk	Mobil
Peredup cahaya (rheostat)	Sakelar
Stir mobil	Lamp usen
Rem mobil	Klakson
Tumpukan belerang	Tumpukan batu bata
Tulisan tangan	Ketikan
Mistar hitung (lihat gambar di bawah)	Sempoa (lihat gambar di bawah)
Komputer analog	Komputer digital



Gambar 8.37 Komputer awal: sempoa dan mistar hitung

Dengan bahasa kami, kami menghormati perbedaan antara kontinu dan diskrit. "How many" berlaku untuk hal-hal yang berkelanjutan (kontinu). "How much" berlaku untuk hal-hal yang bersifat diskrit. Kita tidak akan berbicara tentang jumlah suara—kita akan berbicara tentang sejumlah suara.

Jika kita dapat menggunakan komputer dengan presisi yang cukup untuk menyajikan dunia, apakah penting bahwa mereka adalah mesin diskrit dan bahwa dunia adalah campuran kontinu dan diskrit? (Dapatkah Anda mengetahui apakah musik yang direkam berasal dari CD atau LP? Sebenarnya, beberapa orang bisa mengetahuinya.) Apakah ada dampak penggunaan mesin diskrit untuk mewakili fenomena kontinu? Biasanya hanya sedikit—tetapi terkadang banyak. Gagasan dari pembahasan ini adalah untuk memastikan Anda memahami bahwa ada potensi ketidakakuratan dan kesalahan saat kita menggunakan mesin yang sepenuhnya terpisah untuk mewakili fenomena kontinu. Punch line: komputer adalah mesin diskrit!

8.6.7 Beberapa Implikasi Representasi Diskrit untuk GIS

Karena, dengan GIS, dunia direpresentasikan dalam mesin diskrit, semua yang dikatakan GIS kepada Anda adalah perkiraan—terkadang perkiraan yang buruk—dari kenyataan. Misalnya, GIS dapat mewakili jalan melengkung dengan serangkaian segmen garis lurus, yang diwakili oleh angka. Kumpulan koordinat numerik (pasangan x dan y) yang ditempatkan di sepanjang garis tengah jalan menentukan awal dan akhir segmen. Jumlah panjang segmen, sayangnya, akan kurang mewakili panjang sebenarnya dari jalan melengkung. Tingkat kesalahan dapat dikurangi dengan menggunakan segmen yang lebih pendek, dan karena itu lebih banyak segmen, tetapi masalah mendasarnya tetap sama.

Selanjutnya, "dunia nyata" hampir tak terbatas dalam tingkat detail yang ada (lihat melalui mikroskop jika Anda meragukan ini), sementara penyimpanan komputer terbatas, dan dalam banyak hal, cukup kecil—dibandingkan, katakanlah, dengan apa yang ada di kepalamu sendiri.

Bagaimana mesin digital menyimpan informasi tentang lingkungan yang berkelanjutan? Yaitu dengan mendigitalkan—menggunakan istilah ini dengan cara yang paling umum. Kami menggambarkan dunia dengan angka—bilangan bulat (seperti 7 dan 2383) dan angka “titik mengambang” (seperti 1,618034 dan 6,626 kali 10 pangkat 34 negatif). Kami juga menggunakan string huruf dan simbol lainnya: A, a, B, #, %.

Bahkan untuk memiliki kesempatan yang cukup akurat ketika kita menentukan lokasi di permukaan bumi, kita perlu menggunakan banyak angka. Misalnya, lokasi hidran kebakaran tertentu di dekat Vancouver, British Columbia, Kanada, dilaporkan oleh penerima GPS sebagai 49.2773361 lintang utara dan 122.8793473 bujur barat. Karena setiap digit desimal membutuhkan sekitar dua setengah bit, bilangan biner yang dihasilkan bisa sangat panjang, terutama ketika Anda harus menambahkan lebih banyak bit untuk eksponen yang diperlukan untuk bilangan floating-point. Kemampuan untuk merepresentasikan angka yang tepat kadang-kadang disebut presisi ganda atau presisi yang diperluas, dan sering diperlukan dalam GIS. Dengan angka “nyata” biasa, yang disebut floating-point, Anda dapat mengandalkan enam digit signifikan. Dengan angka presisi ganda, Anda dapat mengandalkan 16 digit signifikan.

8.7 Notasi Ilmiah, Signifikansi Numerik, Akurasi, dan Presisi

8.7.1 Berapa Umur Dinosaurus?

Kurator museum sejarah alam memiliki kebiasaan, dari waktu ke waktu, berjalan-jalan dan mendengarkan pemandu memberikan ceramah di berbagai pameran. Suatu hari dia tiba tepat pada waktunya untuk mendengar bahwa Tyrannosaurus rex di museum itu berusia enam puluh lima juta tiga tahun. Dia kembali ke kantornya dan memberi tahu sekretarisnya: "Gladys, beri tahu George saya ingin bertemu dengannya segera setelah dia selesai dengan turnya." Ketika George muncul, kurator dengan putus asa bertanya kepadanya, "Apa maksud Anda memberi tahu orang-orang bahwa fosil Tyrannosaurus rex berusia enam puluh lima juta tiga tahun?" George tampak malu, tetapi berkata dengan berbisik, “Nah, Anda mempekerjakan saya tiga tahun lalu dan saat itu Anda memberi tahu saya bahwa kerangka itu berusia enam puluh lima juta tahun, jadi…”

GIS dapat menangani angka yang sangat tepat—yaitu angka yang mengandung banyak digit. Misalnya, menempatkan bujur suatu titik di permukaan bumi dalam satu sentimeter (sama

sekali bukan harapan yang tidak realistis saat ini) memerlukan angka dengan 10 digit signifikan—misalnya, 123,4567890. Karena jumlah bit dikhususkan menjadi bilangan “biasa” oleh kebanyakan komputer, dan karena bilangan desimal pecahan mungkin tidak direpresentasikan secara tepat oleh bilangan biner pecahan, GIS sering menggunakan bilangan “presisi ganda” untuk menyajikan posisi.

Selain itu, GIS dapat menangani angka yang sangat besar dan sangat kecil. Angka yang sangat besar dan sangat kecil disimpan di komputer dengan cara yang mirip dengan notasi ilmiah: Angka tersebut direpresentasikan sebagai mantissa (yang berisi angka penting dari angka tersebut) dan eksponen (yang menunjukkan berapa banyak angka dan ke mana arah memindahkan koma desimalnya). Misalnya bilangan dalam notasi ilmiah:

$2{,}0 \times 10^{-7}$ (dua kali sepuluh dipangkatkan negatif tujuh) mewakili angka 0,0000002.

Dengan menggunakan notasi eksponen mantissa ini untuk mewakili 7.009.181.222, Anda akan menulis:

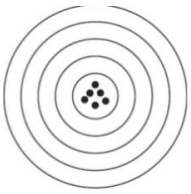
$7.009181222 \times 10^{9}$

8.7.2 Presisi vs. Akurasi

Istilah "akurasi" dan "presisi" tidak mengacu pada ide yang sama. Keduanya penting untuk GIS. Contoh klasik dari perbedaannya adalah berikut:

Peramal cuaca A menunjukkan bahwa suhu akan berada di antara 40 dan 50 derajat besok pukul 4 sore. Pembacaan sebenarnya ternyata 43. Jadi, ramalannya akurat, tapi tidak terlalu tepat. Peramal A memberikan pernyataan yang benar tanpa banyak detail. Peramal B menyatakan bahwa suhunya 52,47 derajat pada jam 4 sore besok. Suhunya ternyata 43 derajat. Peramal B sangat tepat, tetapi tidak akurat.

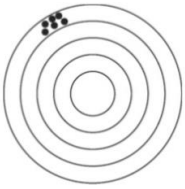
Istilah akurasi dan presisi juga dapat diterapkan pada serangkaian pembacaan atau pengukuran. Sekali lagi, contoh klasik: Anak panah dilempar ke sasaran. Target orang "R" terlihat seperti pada gambar.



Gambar 8.38 Akurasi dan presisi yang bagus

Melempar anak panahnya akurat dan tepat. Anak panah berada di tempat yang dimaksudkan (akurat), dan sangat berdekatan (tepat).

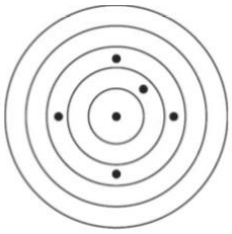
Target orang S terlihat seperti gambar ini.



Gambar Akurasi buruk tapi presisi bagus

Anak-anak panah itu berkelompok dengan rapat (mereka mengenai satu titik hampir tepat) tetapi kurang akurat, karena mereka meleset dari tempat yang dituju. (Mungkin ada semacam kesalahan sistematis—seperti angin sepoi-sepoi bertiup ke kiri.)

Target orang T seperti yang ditunjukkan pada gambar ini.

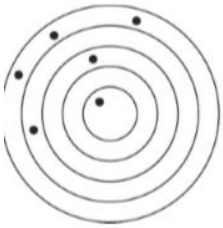


Gambar 8.39 Akurasi bagus tapi presisi buruk

Gambar itu menunjukkan kurangnya presisi, tetapi ketika posisi anak panah dirata-ratakan, mereka cukup akurat—mereka cukup dekat dengan tempat yang diinginkan. (Perhatikan bahwa ini tidak banyak diperhitungkan dalam permainan dart, tetapi akan berguna dalam menemukan tempat yang diinginkan jika seseorang memiliki sejumlah bacaan, katakanlah, garis lintang dan garis bujur, dari suatu proses atau peralatan, seperti Penerima GPS, yang dikenal akurat.)

Nah, apa yang bisa kita katakan tentang target orang U?

Anak panah tidak berkerumun (tidak tepat). Rata-rata tidak ke tempat yang dituju (tidak akurat). Lihat gambar ini.



Gambar 8.30 Akurasi dan presisi buruk

8.7.3 Statistik Dasar

Statistik dapat didefinisikan dengan cara yang sangat terpelajar, tetapi pada dasarnya, ini adalah seni dan ilmu untuk membuat sekelompok besar angka menjadi sekelompok kecil angka sehingga Anda dapat memahami hal-hal mengenai sekelompok besar angka itu. Suatu GIS biasanya dapat melakukan statistik bahkan tanpa terengah-engah. Berikut adalah beberapa ukuran statistik dasar, yang sebagian besar mungkin Anda ketahui:

8.7.4 Rata-rata

Mean atau rata-rata: menjumlahkan semua angka dalam satu set dan membagi dengan jumlah angka. Dinyatakan sebagai rumus rata-rata, disebut x-bar di sini, terlihat seperti yang ditunjukkan pada gambar.

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Gambar 8.41 Rumus rata-rata dari suatu himpunan bilangan

Formula ini membuat takut beberapa orang. Seharusnya tidak. Ini hanya menyatakan apa yang dalam teks sebelumnya. Lebih khusus: Tetapkan bilangan bulat untuk setiap nomor, seperti 1 ke nomor pertama, 2 ke yang kedua, dan seterusnya sampai Anda mencapai nomor terakhir, yang kita sebut sebagai n. (Jika ada 12 angka, n akan menjadi 12.) Angka-angka itu adalah x1, x2, x3, . . . x12. Jadi ketika kita mengatakan xi dan i = 7, kita mengacu pada bilangan ketujuh, bernama x7. Simbol yang ditunjukkan pada gambar di bawah berarti "ambil jumlah dari" apa pun yang mengikutinya. Jadi dalam kasus simbol pada gambar di bawah, yang mengikutinya adalah xi . Apa nilai i yang Anda gunakan? Mereka yang berjalan dari 1 sampai n, yaitu, 1, 2, 3, . . . 12. Akhirnya, rumus pada gambar di atas menyatakan bagi jumlahnya dengan jumlah angka, yaitu n, atau, dalam hal ini, 12.

$$\sum_{i=1}^{n}$$

Gambar 8.42 Sigma: simbol yang berarti menjumlahkan sekumpulan angka

8.7.5 Median

Angka median hanyalah angka tengah (atau rata-rata dari dua angka tengah) dalam sekumpulan angka yang telah diurutkan dari terkecil ke terbesar (atau terbesar ke terkecil—tidak ada bedanya). Median tidak sensitif terhadap nilai outlying yang sangat besar atau sangat kecil, seperti meannya.

8.7.6 Modes

Mode dari sekumpulan bilangan adalah bilangan yang paling sering muncul. Satu set angka dapat memiliki beberapa modus atau tidak sama sekali.

8.7.7 Range

Range atau jangkauan suatu himpunan bilangan adalah bilangan terbesar dikurangi bilangan terkecil. Ini memberi Anda gambaran tentang penyebaran angka. Gagasan yang lebih baik tentang penyebaran mungkin adalah standar deviasi, yang akan ditunjukkan berikutnya.

8.7.8 Standar Deviasi

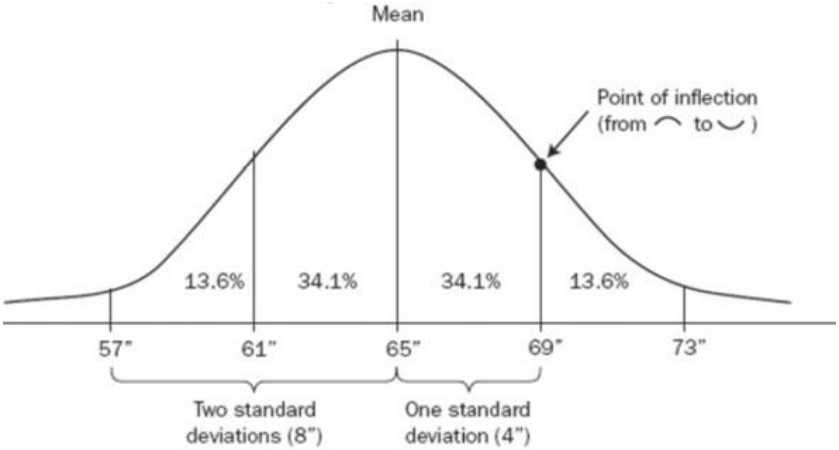
Rumus untuk standar deviasi ditunjukkan pada gambar.

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \overline{x})^2}{n - 1}}$$

Gambar 8.43 Rumus standar deviasi

Rumusnya menyatakan: (1) Temukan rata-ratanya (yaitu x-bar), (2) buat kumpulan angka baru dengan mengurangkan rata-rata itu dari masing-masing angka dalam kumpulan asli, (3) buatlah himpunan bilangan ketiga dengan mengkuadratkan masing-masing bilangan pada himpunan kedua, (4) jumlahkan himpunan ketiga ini, (5) bagi hasilnya dengan n–1, dan (6) ambil akar kuadratnya.

Jika data terdistribusi secara normal—seperti, misalnya, ketinggian pria dewasa di sebuah kota—maka simpangan baku memiliki makna grafis dan juga numerik. Misalkan gambar berikut adalah kurva untuk ketinggian, dengan setiap ketinggian dibulatkan ke inci terdekat.



Gambar 8.44 Kurva nilai data terdistribusi normal

Arah sumbu x mewakili ketinggian yang mungkin dan arah sumbu y mewakili jumlah individu yang memiliki ketinggian tertentu. Kurvanya "berbentuk lonceng terhadap rata-rata"; rata-ratanya adalah 65 inci. Secara grafis, deviasi standar ditentukan oleh nilai x pada kurva pada titik beloknya— di mana kurva berubah dari melengkung ke bawah menjadi melengkung ke atas. Standar deviasinya adalah 4 inci. Ini berarti bahwa sekitar 68 persen individu memiliki tinggi antara 61 inci (65 – 4) dan 69 inci (65 + 4) Gagasan di balik standar deviasi adalah untuk memberi Anda gambaran tentang seberapa tersebar nilai data Anda. Standar deviasi bermakna, namun hanya jika data mendekati distribusi normal Anda baru dapat membuat pernyataan seperti: 47 persen (34 persen + 13 persen) individu memiliki tinggi antara 65 inci dan 73 inci (65+4+ 4).

8.7.9 Menempatkan Nilai ke dalam Kelas

Cara lain untuk mengurangi sekelompok besar angka ke ukuran yang lebih mudah dikelola adalah dengan memasukkan nilai yang sama ke dalam kelas atau kategori. Misalnya, kita mungkin memiliki data tentang ukuran paket real estate. Kita dapat menempatkan setiap persil ke dalam salah satu dari beberapa kategori: (1) lebih besar dari 10 hektar, (2) 10 hektar hingga 5 hektar, (3) 5 hektar hingga 1 hektar, dan kurang dari 1 hektar. Di bagian Langkah-demi-Langkah dari pembahasan ini, Anda akan melakukan latihan tentang klasifikasi nilai.

8.7.10 Skala Pengukuran

Saat Anda melihat sebuah angka, konteksnya adalah menentukan bagaimana Anda menafsirkan angka itu dan bagaimana Anda dapat menggunakannya dalam perhitungan dan

perbandingan. Angka yang mewakili beberapa deskripsi atau pengukuran sesuatu di dunia nyata akan jatuh ke dalam salah satu dari empat kategori:

- *Nominal*—Set data nominal hanyalah sekumpulan nama, kecuali nama yang berbentuk angka. Jika di laboratorium pengajaran Anda secara acak menetapkan nomor ke tabung reaksi (misalnya, untuk mencegah eksperimen siswa mengetahui apa yang ada di dalamnya), Anda membentuk satu set data nominal. Tidak ada hubungan numerik antara angka-angka. Masing-masing hanyalah sebuah nama. Satu-satunya operator yang dapat Anda gunakan pada angka adalah sama dengan (=) dan bukan sama dengan (< >). Misalnya, tanah yang ditemukan di area A disimpan sebagai x dan jenis tanah yang ditemukan di area B disimpan sebagai y, Anda dapat bertanya: "Apakah x = y ?" (dengan asumsi x dan y adalah bilangan bulat atau string teks)?
- Ordinal—Angka dalam kumpulan data ordinal menunjukkan urutan di antara entitas yang diwakilinya. Mungkin 1, 2, dan 3 menunjukkan anak sulung, anak kedua, dan anak ketiga. Anda tahu bahwa, dalam keluarga tertentu, anak bernomor 1 lahir sebelum anak bernomor 3. Tapi Anda tidak tahu berapa bulan atau tahun sebelumnya. Selain menggunakan operator yang sama dan tidak sama pada data ordinal, Anda dapat menggunakan kurang dari (<), kurang dari atau sama dengan (<=), lebih besar atau sama dengan (>=), dan lebih besar dari (>).Anda dapat menentukan mana dari dua rumah yang merupakan rumah paling selatan dengan menanyakan: apakah rumah nomor X lebih besar dari rumah nomor Y?
- *Interval* — Kumpulan data interval terdiri dari angka-angka yang berasal dari skala pengukuran di mana jumlah satuan ditetapkan dan nilai-nilai sepanjang skala adalah kelipatan linier dari jumlah itu. Contohnya adalah skala suhu non-ilmiah yang umum: Celcius dan Fahrenheit. Dengan data interval, Anda dapat menggunakan semua operator yang dijelaskan sebelumnya dan juga operator aritmatika penjumlahan (plus, +) dan pengurangan (minus, –). Misalnya, jika suhunya 20°F di pagi hari dan menjadi 60°F di sore hari, Anda dapat mengatakan bahwa suhu menjadi 40°F lebih hangat (60 – 20) = 40.
- *Anda harus sangat berhati-hati saat menggunakan operator perkalian dan pembagian pada data interval.* Misalnya, Anda mungkin tidak dapat mengatakan, mengingat nomor sebelumnya, bahwa itu menjadi tiga kali lebih hangat di sore hari. Alasannya adalah bahwa satu set data interval tidak harus memiliki titik nol yang berarti untuk diukur. Misalnya, jika suhu pagi hari negatif 20°F dan sore hari positif 20°F, perbedaannya akan tetap 40°F, tetapi Anda dapat melihat kesulitan untuk mengatakan bahwa faktor pengali yang satu lebih hangat daripada yang lain. (Tiga kali –20 adalah –60—hasil yang jelas salah.) Penggunaan perkalian (*) dan pembagian (/) dengan data interval tidak sepenuhnya dikesampingkan. Selama jawabannya dipahami dalam konteks nol arbitrer, Anda dapat menggunakan * dan /. Misalnya, jika suhu pagi hari 20 °F dan sore hari 60 °F, Anda dapat mengatakan bahwa suhu rata-rata adalah 40 °F ((20 + 60)/2) = 40.
- *Rasio*—Satu set data skala rasio seperti set data skala interval, dengan ketentuan tambahan berupa titik nol yang tidak berubah-ubah. Contoh paling sederhana mungkin pengukuran jarak. Penggaris memiliki nol mutlak dan nilai satuan 1 inci. Saya dapat mengatakan keduanya, jika meja A panjangnya 30 inci dan meja B panjangnya 45 inci, meja B 15 inci lebih panjang dari meja A, dan juga bahwa meja B 1,5 kali lebih panjang dari meja A. Dengan data rasio Anda dapat gunakan operator perbandingan

atau aritmatika apa pun (=, < >, <, <=, >=, >, +, -, *, /, dan eksponensial (^ atau **)) ditambah seluruh kumpulan fungsi, seperti akar kuadrat . Tentu saja, Anda harus berhati-hati untuk mengetahui batasan dan karakteristik data Anda. Anda tidak boleh, misalnya, mengambil logaritma dari angka negatif. Dan ketika mengambil kosinus 450 ° Anda harus memahami apa artinya itu.

8.8 KESIMPULAN

Data atribut merupakan komponen penting dari data spasial dalam SIG. Data ini dapat diatur dalam beberapa cara, tetapi struktur data yang menggunakan tabel relasional telah menjadi metode yang paling umum untuk mengatur dan memanipulasi data atribut di GIS.

Seleksi, atau kueri, adalah salah satu analisis paling umum yang dilakukan pada data atribut. Kueri menandai subset catatan dalam tabel, sering kali sebagai pendahulu untuk analisis berikutnya. Kueri dapat menggunakan operasi AND, OR, dan NOT, antara lain, sendiri atau dalam kombinasi.

Kunci penting dalam menyusun tabel data relasional. Kunci utama dan kunci asing didefinisikan yang digunakan dalam menggabungkan tabel. Kunci utama terkadang dapat digabungkan, atau dibentuk dari beberapa kolom, bukan hanya dari satu kolom. Entri dan manipulasi nilai kunci sering dibatasi agar tabel dapat berfungsi dengan baik. Tabel relasional sering ditempatkan dalam bentuk normal untuk meningkatkan kebenaran dan konsistensi, untuk menghilangkan redundansi, dan untuk memudahkan pembaruan. Bentuk normal berusaha memecah tabel besar menjadi tabel kecil yang berisi dependensi fungsional sederhana. Ini secara signifikan meningkatkan pemeliharaan dan integritas database. Bentuk normal dapat menyebabkan beberapa biaya dalam kecepatan akses, meskipun ini adalah masalah yang berkurang seiring dengan peningkatan perangkat keras komputer.

Sistem database relasional objek telah dikembangkan yang menggabungkan pengetikan kuat dan domain model berorientasi objek dengan fleksibilitas, logika, dan model data relasional yang ada di mana-mana. Perbaikan evolusioner pada pendekatan relasional ini akan berlanjut seiring dengan perluasan teknologi database di seluruh jaringan komputer dan World Wide Web.

Presisi mengacu pada tingkat detail yang ditentukan. Suatu bilangan dengan banyak angka penting adalah bilangan eksak. (Sayangnya, "digit signifikan" mungkin tidak benar-benar signifikan.) Akurasi mengacu pada kebenaran angka yang ditentukan. Yang penting adalah kebenarannya. Ini mungkin tepat atau tidak tepat.

8.8 Soal Latihan

1. Apa saja komponen utama dari sistem manajemen database?
2. Apa fungsi utama dari sistem manajemen database?
3. Jelaskan perbedaan antara tampilan pengguna tunggal dan ganda.
4. Apa yang dimaksud dengan hubungan satu-ke-satu antar tabel? Hubungan banyak-ke-satu?
5. Kolom tunggal mana dalam tabel berikut yang dapat berfungsi sebagai kunci?

PID	Osel	Clr	NumT	SpLm
1	B	or	1	55
3	D	gr	2	55
5	A	rd	11	55
7	C	ye	23	55
9	G	az	1	65
null	X	bl	9	65

6. Kolom tunggal mana dalam tabel berikut yang dapat berfungsi sebagai kunci?

CID	TStmp	Osel	Clr	NumT	Xerr
1	10:12	B	rd	1	110
3	11:44	D	gr	-5	220
5	11:44	A	rd	11	220
7	16:58	C	gr	23	110
9	22:11	F	bl	0	110
Null	23:59	H	bl	-2	220

7. Mengapa struktur database relasional terbukti begitu populer?
8. Apa delapan operasi dasar yang secara formal didefinisikan oleh E.F. Codd untuk model relasional?
9. Apa alasan utama model database hybrid digunakan untuk data spasial?
10. Apakah suatu kondisi OR menghasilkan lebih banyak, lebih sedikit, atau jumlah record yang sama dari bagian-bagian komponen, misalnya, apakah himpunan dari kondisi A ATAU kondisi B sama, lebih besar, atau lebih kecil dari himpunan dari kondisi A saja, atau kondisi B saja?
11. Apakah kondisi AND menghasilkan lebih banyak, lebih sedikit, atau jumlah record yang sama dengan bagian komponen, misalnya, apakah himpunan dari kondisi A DAN kondisi B sama, lebih besar, atau lebih kecil dari himpunan dari kondisi A saja, atau kondisi B saja?
12. Apa bentuk normal dalam database relasional? Mengapa mereka digunakan, dan apa keuntungan menempatkan data dalam bentuk normal yang lebih tinggi?
13. Sketsa tabel output yang dihasilkan dari inner join yang ditunjukkan di bawah:

Id1	pos
Y	wa
Z	ea
A	rt
Y	pr
Y	nn
R	rt
Q	mn

Id2	tm
X	5
Y	1
A	6
Q	4
N	3
L	2

14. Buat sketsa gabungan luar untuk tabel yang ditunjukkan pada masalah sebelumnya.
15. Mendefinisikan perbedaan mendasar antara bentuk normal pertama, kedua, dan ketiga.
16. Berikan contoh ketergantungan fungsional.

8.10 DAFTAR PUSTAKA

Adam, N., Gangopadhyay, A. (1997). Database Issues in Geographic Information Systems. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Adler, D.W. (2000). IBM DB2 Spatial Extender - Spatial data within a RDBMS. Proceedings 27th International Conference on Very Large Databases. Rome, Italy.

Aronoff, S. (1991). Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications: Ontario.

Arctur, D., Zeiler, M. (2004). Designing Geodatabases: Case Studies in GIS Data Modeling. Redlands: ESRI Press.

Bhalla, N. (1991). Object-oriented data models: a perspective and comparative review. Journal of Information Science, 17:145–160.

Codd, E.F. (1982). Relational database: a practical foundation to productivity. Communications of the ACM. 25:109–117.

Date, C. J. (2004). An Introduction to Database Systems (8th ed.). Boston: Pearson/ Addison-Wesley.

Frank, A.U. (1988). Requirements for a database management system for a GIS. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54:1557–1564.

Lorie, R.A., Meier, A. (1984). Using a relational DBMS for geographical databases. Geoprocessing, 2:243–257.

Milne, P., Milton, S., Smith, J.L. (1993). Geographical object-oriented databases: a case study. International Journal of Geographical Information Systems, 7:39–55.

Obe, R.O., Hsu, L.S. (2011). PostGIS in Action. Greenwich: Manning Publications.

Rigaux, P., Scholl, M., Voisard, A. (2002). Spatial Databases With Applications To GIS. San Francisco: Morgan Kaufman.

Teorey, T. J. (1999). Database Modeling and Design (3rd ed.). San Francisco: Morgan Kaufmann.

Ullman, J.D., Widom, J. (2008). A First Course in Database Systems. New York: Prentice Hall. Zeiler, M. (1999). Modeling Our World: An ESRI Guide to Geodatabase Design. Redlands: ESRI Press.

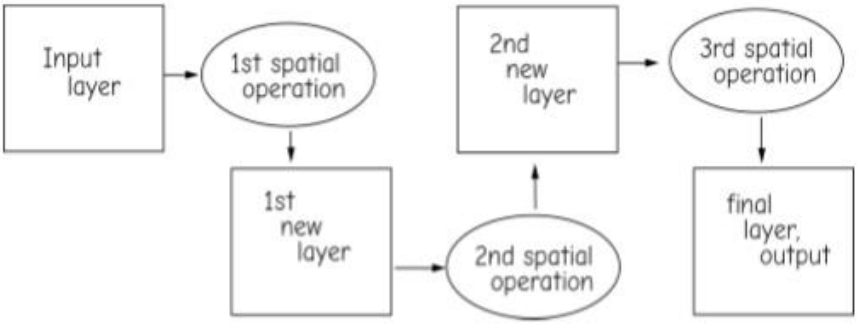
BAB 9
ANALISIS SPASIAL DASAR

9.1 Pendahuluan

Analisis data spasial adalah penerapan operasi untuk mengoordinasikan dan data atribut terkait, seringkali untuk memecahkan masalah, misalnya, untuk mengidentifikasi area kejahatan tinggi, atau untuk menghasilkan daftar segmen jalan yang perlu diaspal ulang. Ada ratusan operasi spasial atau fungsi spasial yang digunakan dalam analisis spasial, dan semuanya melibatkan perhitungan dengan koordinat atau atribut.

Istilah operasi spasial dan fungsi spasial sering digunakan secara bergantian. Beberapa praktisi bersikeras operasi tidak selalu menghasilkan output apapun, sementara fungsi tidak. Sesuai dengan banyak pekerjaan sebelumnya, kita akan menggunakan istilah fungsi spasial dan operasi secara bergantian.

Operasi spasial dapat diterapkan secara berurutan untuk memecahkan suatu masalah. Sebuah rantai operasi spasial sering diterapkan, dengan output dari setiap operasi spasial berfungsi sebagai input berikutnya. Bagian dari tantangan analisis geografis adalah memilih operasi spasial yang tepat, dan menerapkannya dalam urutan yang sesuai.



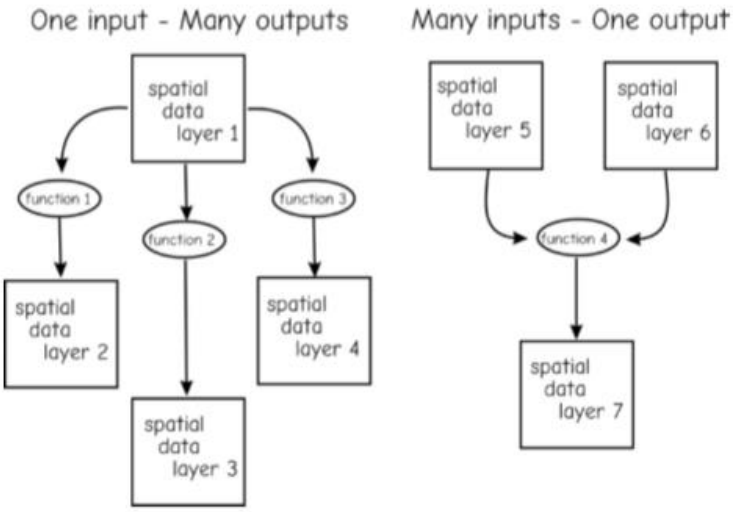
Gambar 9.1: Urutan operasi spasial sering diterapkan untuk mendapatkan layer data akhir yang diinginkan.

Pemilihan dan modifikasi data atribut dalam layer data spasial disertakan pada beberapa waktu di hampir semua analisis spasial yang kompleks. Banyak operasi menggabungkan atribut dan data koordinat, dan atribut harus dipilih dan dimodifikasi lebih lanjut selama analisis spasial. Beberapa mungkin mempermasalahkan definisi inklusif kami tentang operasi spasial, karena operasi mungkin hanya diterapkan pada data atribut "nonspasial" yang disimpan dalam tabel database. Namun, data atribut adalah bagian dari definisi objek spasial, dan tampaknya artifisial untuk memisahkan operasi pada data atribut dari operasi yang hanya bekerja pada bagian koordinat dari data spasial.

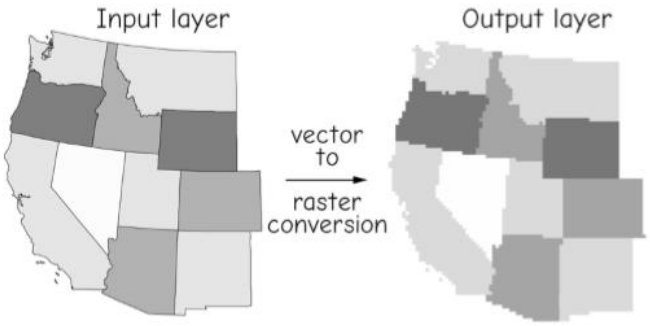
9.1.1 Input, Operasi, dan Output

Analisis data spasial biasanya melibatkan penggunaan data dari satu atau lebih layer untuk membuat output. Analisis dapat terdiri dari satu operasi yang diterapkan pada layer data, atau banyak operasi yang mengintegrasikan data masukan dari banyak layer untuk menghasilkan output yang diinginkan. Banyak operasi memerlukan satu layer data sebagai input dan

menghasilkan satu layer data output. Konversi vektor ke raster adalah contoh operasi dengan korespondensi satu-ke-satu antara layer input dan output.



Gambar 9.2 : Banyak analisis data spasial dasar sebagian besar terdiri dari operasi spasial. Operasi ini diterapkan pada satu atau lebih layer data masukan untuk menghasilkan satu atau lebih layer data output.



Gambar 9.3 : Konversi vektor ke raster, contoh operasi data spasial.

Ada juga operasi yang menghasilkan beberapa layer data output dari satu masukan. Fungsi analisis medan dapat mengambil grid raster elevasi sebagai layer data input dan menghasilkan kemiringan (seberapa curam setiap sel) dan aspek (arah kemiringan). Dalam hal ini, dua output dihasilkan untuk setiap set data elevasi input.

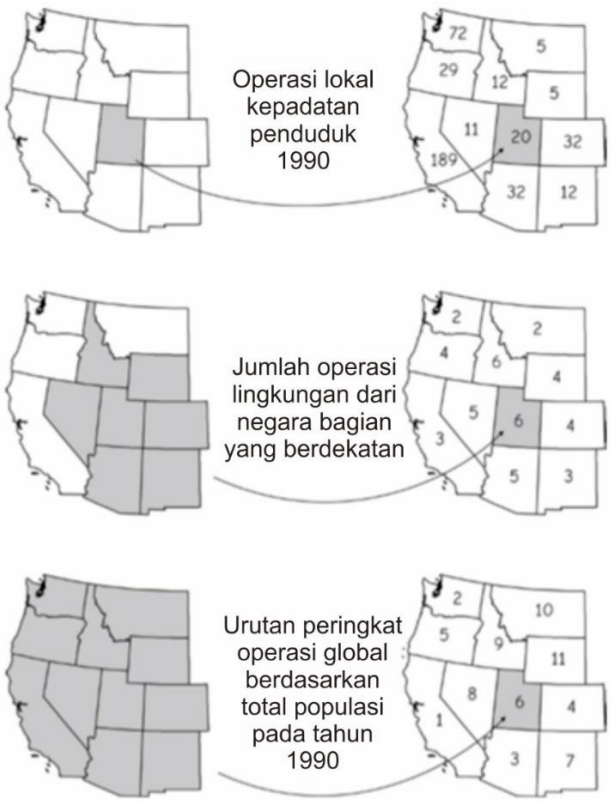
Operasi juga dapat mengambil beberapa layer input untuk menghasilkan satu layer output. Rata-rata layer adalah contoh penggunaan beberapa layer input untuk menghasilkan satu layer output. Misalnya, curah hujan tahunan dapat ditemukan dengan menjumlahkan 12 layer raster curah hujan bulanan, menghasilkan satu layer data output. Akhirnya, ada beberapa operasi spasial yang membutuhkan banyak layer input dan menghasilkan banyak layer output

Output dari operasi spasial mungkin spasial, di mana layer data baru dihasilkan, atau output mungkin nonspasial, di mana operasi spasial dapat menghasilkan nilai skalar, daftar, atau tabel, tanpa data geometrik eksplisit yang dilampirkan. . Fungsi rata-rata layer mungkin hanya menghitung nilai sel rata-rata yang ditemukan di layer data raster. Input adalah layer data spasial, tetapi outputnya adalah angka tunggal.

Operasi lain membuat output aspatial. Misalnya, daftar semua jenis tutupan lahan dapat diekstraksi dari layer data. Daftar tersebut menunjukkan semua jenis tutupan lahan yang berbeda yang dapat ditemukan pada layer tersebut, tetapi bersifat nonspasial, karena tidak melekatkan setiap tutupan lahan ke lokasi tertentu di permukaan bumi. Orang mungkin berpendapat bahwa daftar tersebut direferensikan secara umum ke area yang dicakup oleh layer data spasial, tetapi setiap kelas tutupan lahan dalam daftar tersebut tidak secara eksplisit terkait dengan poligon atau tempat menarik tertentu dalam layer data. Dengan demikian, input spasial dilewatkan melalui operator "kejadian" ini dan memberikan output daftar.

9.1.2 Cakupan

Operasi data spasial dapat dicirikan oleh ruang lingkup spasialnya, luas atau luasnya data input yang digunakan dalam menentukan nilai di lokasi output. Seringkali ada korespondensi langsung antara data input di lokasi dan data output di lokasi yang sama. Data geografis atau atribut yang sesuai dengan lokasi input ditindaklanjuti oleh operasi spasial, dan hasilnya ditempatkan di lokasi yang sesuai di layer data output. Operasi spasial dapat dicirikan sebagai lokal, lingkungan, atau global, untuk mencerminkan luasnya area sumber yang digunakan untuk menentukan nilai pada lokasi output tertentu.



Gambar 9.4: Operasi lokal, lingkungan, dan global. Daerah input dan output tertentu ditampilkan untuk Utah, area yang diarsir di sisi kanan gambar. Area yang diarsir di sebelah kiri berkontribusi pada nilai yang ditampilkan di area yang diarsir di sebelah kanan. Output operasi lokal (kanan atas) hanya bergantung pada data di lokasi input yang sesuai (kiri atas). Output operasi lingkungan (kanan tengah) tergantung pada input dari daerah setempat dan sekitarnya (kiri tengah). Output operasi global (kanan bawah) bergantung pada semua fitur di layer data input (kiri bawah).

Operasi lokal hanya menggunakan data pada satu lokasi input untuk menentukan nilai pada lokasi output yang sesuai (Gambar atas). Atribut atau nilai pada lokasi yang berdekatan tidak digunakan dalam operasi.

Operasi lingkungan menggunakan data dari kedua lokasi input ditambah lokasi terdekat untuk menentukan nilai output (Gambar tengah). Tingkat dan kepentingan relatif dari nilai-nilai di wilayah terdekat dapat bervariasi, tetapi nilai di lokasi output dipengaruhi oleh lebih dari sekedar nilai data yang ditemukan di lokasi masukan yang sesuai.

Operasi global menggunakan nilai data dari seluruh layer input untuk menentukan setiap nilai output. Nilai di setiap lokasi sebagian bergantung pada nilai di semua lokasi input (Gambar bawah).

Himpunan operasi spasial yang tersedia tergantung pada model data dan jenis data spasial yang digunakan sebagai input. Beberapa operasi dapat dengan mudah diterapkan pada data raster atau vektor. Sementara detail implementasi spesifik dapat berubah, konsep operasi tidak. Operasi lain dapat dilakukan hanya dalam satu model data.

Karakteristik model data akan menentukan bagaimana konsep dari setiap operasi yang diberikan diterapkan. Implementasi spesifik dari banyak operasi, misalnya, penambahan multilayer, tergantung pada model data tertentu. Operasi raster dapat menghasilkan hasil yang berbeda dari operasi vektor, bahkan jika tema dimaksudkan untuk mewakili fitur yang sama. Dengan cara yang sama, rangkaian spesifik dan urutan operasi dalam analisis spasial akan bergantung pada model data yang digunakan dan operasi spesifik yang tersedia dalam perangkat lunak GIS.

Lingkup operasi memberikan contoh yang baik tentang pengaruh model data ini. Sel dalam kumpulan data raster memiliki ukuran dan bentuk yang seragam. Oleh karena itu, operasi lokal yang diterapkan pada layer data raster mengumpulkan informasi dari area yang terdefinisi dengan baik. Sebaliknya, poligon biasanya bervariasi dalam ukuran dan bentuk. Operasi lokal untuk kumpulan data poligon vektor kemungkinan diambil dari ukuran, bentuk, dan lokasi variabel ini. Pada Gambar diatasoperasi lokal mengikuti batas negara bagian. Oleh karena itu, operasi tersebut berlaku untuk ukuran dan bentuk yang berbeda untuk setiap keadaan.

Analisis lingkungan dipengaruhi oleh bentuk negara bagian yang berdekatan dengan cara yang sama. Nilai ringkasan seperti populasi negara bagian yang berdekatan mungkin sangat dipengaruhi oleh perubahan ukuran lingkungan, sehingga harus sangat berhati-hati saat menafsirkan hasil operasi spasial. Pengetahuan tentang algoritma di balik operasi adalah bantuan terbaik untuk menafsirkan hasil.

Sementara sebagian besar operasi mungkin secara konseptual kompatibel dengan sebagian besar model data spasial, beberapa operasi lebih mudah diterapkan dalam beberapa model. Sebagian besar operasi lingkungan cukup mudah diprogram saat menggunakan model data raster, dan cukup sulit saat menggunakan model data vektor. Kebalikannya berlaku untuk operasi jaringan, yang umumnya lebih mudah diterapkan dalam model vektor. Dalam banyak kasus, lebih efisien untuk mengubah data antara model data dan menerapkan operasi yang diinginkan dan, jika perlu, mengubah hasilnya kembali ke model data asli.

9.2 Seleksi dan Klasifikasi

Operasi seleksi mengidentifikasi fitur yang memenuhi satu hingga beberapa kondisi atau kriteria. Dalam operasi ini, atribut atau geometri fitur diperiksa terhadap kriteria, dan yang memenuhi kriteria dipilih. Fitur yang dipilih ini kemudian dapat ditulis ke layer data output baru, atau geometri atau data atribut dapat dimanipulasi dalam beberapa cara.

Bentuk seleksi paling sederhana adalah kueri di layar. Layer data ditampilkan, dan fitur dipilih oleh operator manusia. Operator menggunakan alat penunjuk untuk menempatkan kursor di atas fitur yang diinginkan dan mengirimkan perintah untuk memilih, seringkali melalui klik mouse atau entri keyboard. Permintaan di layar (atau interaktif) digunakan untuk mengumpulkan informasi tentang fitur tertentu, dan sering digunakan untuk pembaruan interaktif atribut atau data spasial. Misalnya, adalah umum untuk mengatur proses sedemikian rupa sehingga ketika sebuah fitur dipilih, informasi atribut untuk fitur tersebut ditampilkan. Data atribut ini kemudian dapat diedit dan perubahannya disimpan.

Kueri juga dapat ditentukan dengan menerapkan kondisi semata-mata pada komponen aspasial dari data spasial. Pilihan ini paling sering didasarkan pada tabel data atribut untuk layer atau layer. Operasi pemilihan ini diterapkan pada sekumpulan fitur dalam layer atau layer data. Atribut untuk setiap fitur dibandingkan dengan sekumpulan kondisi. Jika atribut cocok dengan kondisi, mereka dipilih; jika atribut gagal cocok dengan kondisi, mereka ditempatkan di set yang tidak dipilih. Dengan cara ini, seleksi membagi data menjadi set yang dipilih atau set yang tidak dipilih. Data yang dipilih kemudian biasanya ditindaklanjuti dalam beberapa cara, sering disimpan ke file terpisah, dihapus, atau diubah dalam beberapa cara.

Deskripsi di sini memperluas informasi tersebut dan menarik perhatian pada karakteristik khusus dari seleksi yang diterapkan pada data yang terkait secara spasial. Pemilihan tabel memiliki relevansi spasial karena setiap record dalam tabel dikaitkan dengan fitur geografis. Memilih catatan dalam tabel secara bersamaan memilih fitur spasial terkait: sel, titik, garis, atau area. Pilihan spasial dapat dikombinasikan dengan pilihan tabel untuk mengidentifikasi sekumpulan fitur geografis yang dipilih.

9.2.1 Tetapkan Aljabar

Kondisi seleksi sering diformalkan dengan menggunakan aljabar himpunan. Aljabar himpunan menggunakan operasi kurang dari (<), lebih besar dari (>), sama dengan (=), dan tidak sama dengan (< >). Kondisi pemilihan ini dapat diterapkan baik sendiri atau dalam kombinasi untuk memilih fitur dari satu set.

9.2.2 Aljabar Boolean

Aljabar Boolean menggunakan kondisi OR, AND, dan NOT untuk memilih fitur. Ekspresi Boolean paling sering digunakan untuk menggabungkan kondisi aljabar yang ditetapkan dan membuat pilihan spasial majemuk. Ekspresi Boolean terdiri dari satu set operator Boolean, variabel, dan mungkin konstanta atau nilai skalar.

Ekspresi Boolean dievaluasi dengan menetapkan hasil, benar atau salah, untuk setiap kondisi. Gambar diatas menunjukkan tiga contoh ekspresi Boolean. Yang pertama adalah ekspresi menggunakan Boolean AND, dengan dua argumen untuk ekspresi. Argumen pertama menentukan kondisi pada variabel bernama area, dan argumen kedua menetapkan kondisi

pada variabel bernama pendapatan_pertanian. Fitur dipilih jika memenuhi kedua argumen, yaitu, jika areanya lebih besar dari 100.000 AND pendapatan_pertanian kurang dari 10 miliar.

Ekspresi 2 pada Gambar diatas mengilustrasikan ekspresi NOT Boolean. Kondisi ini menetapkan bahwa semua fitur dengan status variabel yang tidak sama dengan Texas akan mengembalikan nilai sebenarnya, dan karenanya dipilih. NOT juga sering disebut sebagai operator negasi. Ini karena kita mungkin menafsirkan penerapan operasi NOT sebagai pertukaran set yang dipilih untuk set yang tidak dipilih. Argumen dari ekspresi 2 pada Gambar itu sendiri merupakan ekspresi aljabar himpunan. Saat diterapkan ke sekumpulan fitur, ekspresi ini akan memilih semua fitur yang status variabelnya sama dengan nilai Texas. Operasi NOT membalikkan ini, dan memilih semua fitur yang status variabelnya tidak sama dengan Texas.

Boolean expressions

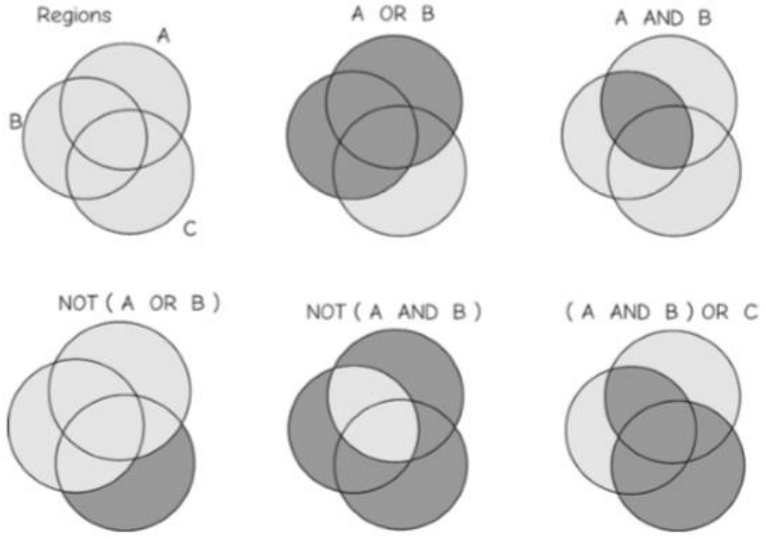
1. (area > 100,000)
   AND
   (farm_income < 10 billion)

2. NOT (state = Texas)

3. [(rainfall > 1000)
   AND
   (taxes = low)]
   OR
   [(house_cost < 65,000)
   AND
   NOT (crime = high)]

Gambar 9.5 :Contoh ekspresi Boolean

Ekspresi ketiga pada Gambar diatas menunjukkan ekspresi Boolean majemuk, menggabungkan empat ekspresi aljabar himpunan dengan AND, OR, dan NOT. Contoh ini menunjukkan apa yang mungkin merupakan upaya naif untuk memilih area untuk pensiun. Kakek-nenek kami tertarik untuk memilih daerah yang memiliki curah hujan tinggi dan pajak rendah (tukang kebun dengan pendapatan tetap), atau biaya perumahan rendah dan tingkat kriminalitas rendah.

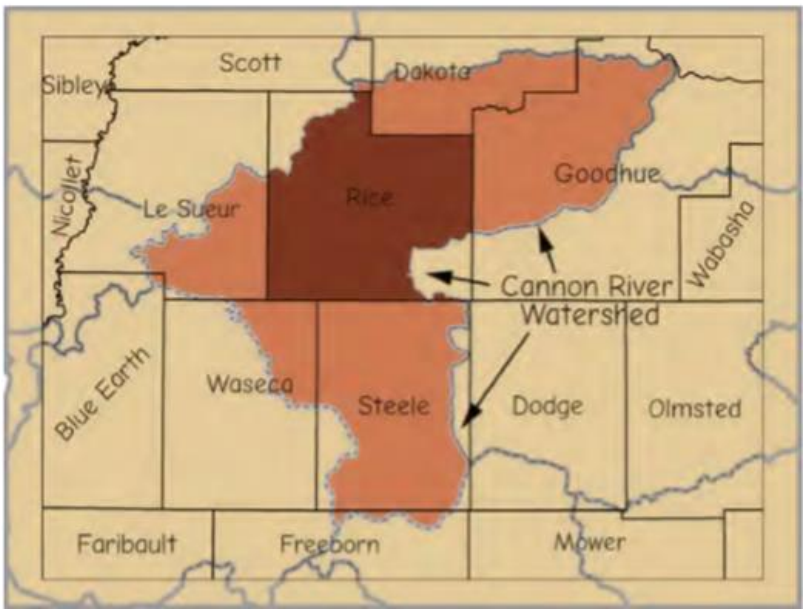


Gambar 9.6 : Contoh ekspresi dalam aljabar Boolean, dan hasilnya. Subarea dari tiga region dipilih dengan menggabungkan kondisi AND, OR, dan NOT dalam ekspresi Boolean. Setiap sub-area atau kelompok sub-area dapat dipilih dengan kombinasi Boolean yang benar.

Hasil spasial ekspresi Boolean spesifik ditunjukkan pada Gambar diatas. Gambar menunjukkan tiga daerah melingkar yang tumpang tindih, diberi label A, B, dan C. Daerah dapat jatuh di lebih dari satu daerah; misalnya, pusat, di mana ketiga daerah tumpang tindih, berada di A, B, dan C. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, Boolean AND, OR, atau NOT dapat digunakan untuk memilih kombinasi atau bagian dari daerah ini.

Kondisi OR mengembalikan nilai true jika salah satu argumen benar. Area di wilayah A atau wilayah B dipilih di tengah atas gambar. AND membutuhkan kondisi di kedua sisi operasi terpenuhi; operasi AND menghasilkan kumpulan pilihan yang dikurangi (Gambar kanan atas). NOT adalah operator negasi, membalik efek dari operasi sebelumnya; ternyata benar menjadi salah dan salah menjadi benar. NOT yang ditunjukkan di bagian kiri bawah Gambar mengembalikan area yang hanya ada di wilayah C. Perhatikan bahwa ini adalah kebalikan, atau himpunan berlawanan yang dikembalikan saat menggunakan OR komparatif, yang ditunjukkan di tengah atas gambar. Operasi NOT sering diterapkan dalam kombinasi dengan operator AND Boolean, seperti yang ditunjukkan di tengah bawah gambar. Sekali lagi, ini memilih kebalikan (atau pelengkap) dari AND yang sesuai. Bandingkan pilihan tengah bawah dengan pilihan kanan atas pada gambar. NOT, AND, dan OR dapat digabungkan lebih lanjut untuk memilih kombinasi area tertentu, seperti yang ditunjukkan di kanan bawah gambar.

Perhatikan bahwa seperti pemilihan tabel yang dibahas dalam bab sebelumnya, urutan penerapan operasi Boolean ini penting. Dalam kebanyakan kasus, Anda tidak akan memilih set yang sama saat menerapkan operasi dalam urutan yang berbeda. Oleh karena itu, tanda kurung, kurung, atau pembatas lainnya harus digunakan untuk menentukan urutan aplikasi. Ekspresi A DAN B OR C akan memberikan hasil yang berbeda ketika diinterpretasikan sebagai (A AND B) OR C, seperti yang ditunjukkan pada gambar, dibandingkan ketika diinterpretasikan sebagai A AND (B OR C). Verifikasi ini sebagai latihan. Area mana yang dipilih oleh ekspresi Boolean kedua?



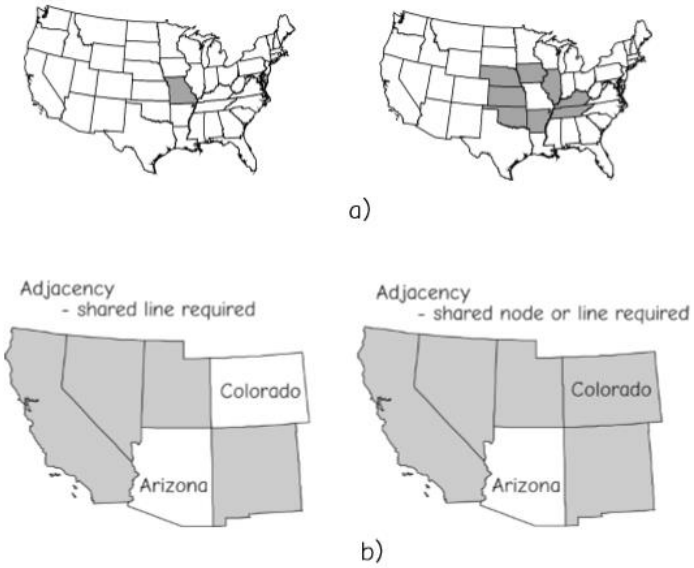
Gambar 9.7: Contoh seleksi Boolean yang diterapkan pada satu set kabupaten dan daerah aliran sungai. Daerah yang diarsir tengah berada di dalam DAS Sungai Cannon, anak sungai dari Sungai Mississippi, sedangkan daerah yang paling gelap juga berada di dalam Rice County, Minnesota.

Gambar diatas menunjukkan contoh dunia nyata dari seleksi Boolean. Agen daerah sering kali harus mengidentifikasi area untuk perawatan, dalam hal ini sebagian dari Sungai Cannon, anak sungai dari Sungai Mississippi, yang ditargetkan untuk pengurangan polusi. Kabupaten diberi label, dengan batas-batas yang ditampilkan sebagai garis tebal tebal. DAS Sungai Cannon ditampilkan dalam warna abu-abu yang lebih gelap. Operasi Boolean AND diterapkan pada layer data yang berisi batas DAS dan wilayah, memilih area yang berada di dalam DAS Sungai Cannon dan di dalam Kabupaten Beras.

9.2.3 Operasi Seleksi Spasial

Banyak operasi spasial memilih set fitur. Operasi ini diterapkan ke layer data spasial dan mengembalikan satu set fitur yang memenuhi kondisi tertentu. Kedekatan dan penahanan adalah operasi seleksi spasial yang umum digunakan.

Operasi kedekatan digunakan untuk mengidentifikasi fitur-fitur yang "menyentuh" fitur lain. Fitur biasanya dianggap menyentuh ketika mereka berbagi batas, seperti ketika dua poligon berbagi tepi. Target atau set kunci fitur poligon diidentifikasi, dan semua fitur yang berbagi batas dengan fitur target ditempatkan di set yang dipilih.



Gambar 9.8: Contoh pemilihan berdasarkan kedekatan. a) Missouri, AS ditunjukkan di sebelah kiri dan semua negara bagian yang berbatasan dengan Missouri ditunjukkan di sebelah kanan. b) Definisi yang berbeda dari ketetanggaan menghasilkan pilihan yang berbeda. Colorado tidak berbatasan dengan Arizona ketika diperlukan kedekatan garis (kiri), tetapi saat kedekatan simpul diterima (kanan).

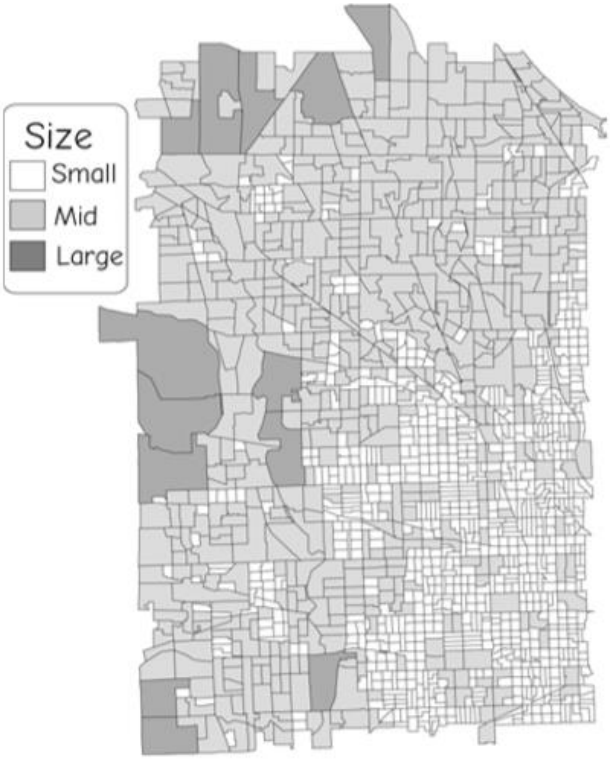
Gambar a menunjukkan contoh seleksi berdasarkan kedekatan poligon. Negara bagian Missouri diarsir di sisi kiri Gambar a, dan negara bagian yang berdekatan dengan Missouri

diarsir di bagian kanan Gambar a. Negara bagian dipilih karena mereka termasuk perbatasan bersama dengan Missouri.

Ada banyak cara perbatasan bersama dapat dideteksi. Dengan layer data raster, perbandingan sel demi sel yang lengkap dapat dilakukan untuk mengidentifikasi pasangan yang berdekatan dengan nilai status yang berbeda. Kedekatan vektor dapat diidentifikasi dengan mengamati hubungan topologi. Topologi garis dan poligon biasanya merekam pengidentifikasi poligon di setiap sisi garis. Semua garis dengan Missouri di satu sisi dan negara bagian yang berbeda di sisi lain dapat ditandai, dan daftar negara bagian yang berdekatan dengan Missouri diekstraksi

9.2.4 Klasifikasi

Klasifikasi adalah operasi data spasial yang sering digunakan dalam hubungannya dengan seleksi. Klasifikasi, juga dikenal sebagai reklasifikasi atau pengodean ulang, akan mengkategorikan objek geografis berdasarkan serangkaian kondisi. Misalnya, semua poligon yang lebih besar dari satu mil persegi dapat diberi nilai ukuran yang sama dengan Besar, semua poligon dari 0,1 hingga 1 mil persegi dapat diberi ukuran yang sama dengan Mid, dan semua poligon yang lebih kecil dari 0,1 mil persegi dapat diberi ukuran sama dengan Kecil.



Gambar 9.9: Persil tanah diklasifikasikan berdasarkan wilayah.

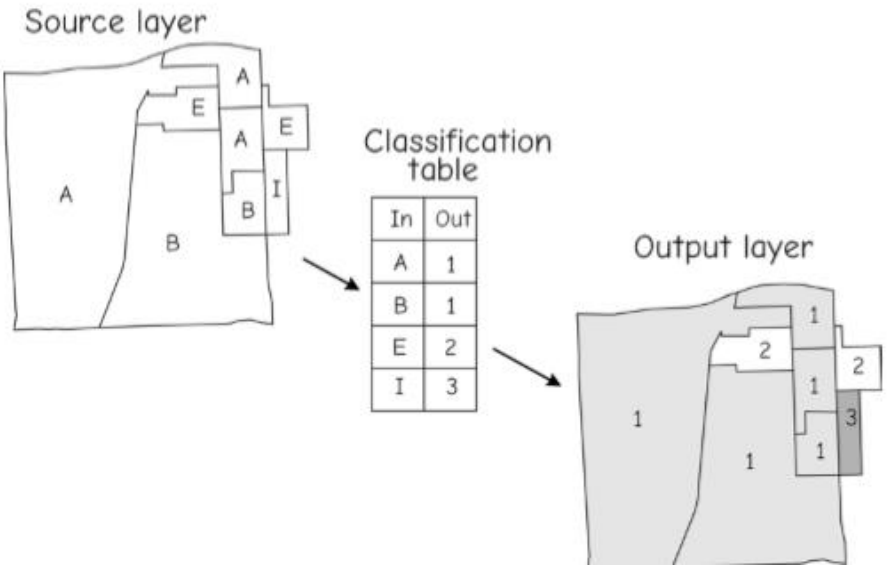
Klasifikasi dapat menambah atau mengubah data atribut untuk setiap objek geografis. Atribut yang dimodifikasi ini pada gilirannya dapat digunakan dalam analisis lebih lanjut, seperti untuk kombinasi yang lebih kompleks dalam klasifikasi tambahan. Klasifikasi dapat digunakan untuk banyak tujuan lain. Salah satu tujuan umum adalah mengelompokkan objek untuk tampilan atau produksi peta. Objek-objek ini memiliki sifat yang sama, dan tujuannya adalah untuk menampilkannya dengan warna atau simbol yang seragam sehingga objek-objek serupa diidentifikasi sebagai satu kelompok. Warna dan/atau pola tampilan biasanya ditetapkan

berdasarkan nilai atribut atau atribut. Berbagai nuansa tampilan dapat dipilih, dan nilai yang sesuai untuk atribut tertentu ditetapkan. Peta kemudian ditampilkan berdasarkan klasifikasi ini.

Klasifikasi dapat dilihat sebagai penugasan fitur dari kumpulan kelas yang ada ke kumpulan kelas yang baru. Kami mengidentifikasi fitur yang memiliki serangkaian nilai tertentu, misalnya, parsel yang berada di atas ukuran tertentu, dan menetapkan semua nilai klasifikasi, dalam hal ini kelas "besar". Paket dalam rentang ukuran lain dapat diberi nilai kelas yang berbeda, misalnya, "sedang" dan "kecil". Atribut yang menyimpan area parsel digunakan sebagai panduan untuk menetapkan nilai kelas baru untuk ukuran.

Penugasan dari nilai atribut input (area) ke nilai kelas baru (di sini, ukuran) dapat ditentukan secara manual, atau penugasan dapat ditentukan secara otomatis. Untuk klasifikasi manual, transisi kelas ditentukan sepenuhnya oleh analis manusia.

Klasifikasi sering ditentukan oleh tabel atau larik. Tabel mengidentifikasi kelas atau nilai input, serta kelas output untuk setiap set nilai input ini.



Gambar 9.10 : Klasifikasi layer tematik. Nilai diberikan ke atribut tertentu dalam tabel klasifikasi, yang digunakan, pada gilirannya, untuk menetapkan kelas di layer output.

Gambar diatas mengilustrasikan penggunaan tabel klasifikasi untuk menentukan tugas kelas. Nilai input A atau B mengarah ke nilai kelas output 1, nilai input E mengarah ke nilai output 2, dan nilai input I mengarah ke nilai output 3. Tabel memberikan spesifikasi lengkap untuk masing-masing tugas klasifikasi. Gambar diatas mengilustrasikan klasifikasi berdasarkan tabel yang ditentukan secara manual. Seorang analis manusia menentukan item In untuk layer data sumber melalui tabel klasifikasi, serta nilai output yang sesuai untuk setiap variabel In. Nilai keluar harus ditentukan untuk setiap nilai input atau akan ada fitur yang tidak ditentukan di layer output. Mendefinisikan tabel klasifikasi secara manual memberikan kontrol terbesar atas tugas kelas. Atau, tabel klasifikasi dapat ditetapkan secara otomatis, di mana sejumlah kelas dapat ditentukan dan beberapa aturan diwujudkan dalam algoritma komputer yang digunakan untuk menetapkan kelas output untuk setiap kelas input. Klasifikasi biner mungkin merupakan bentuk klasifikasi yang paling sederhana.

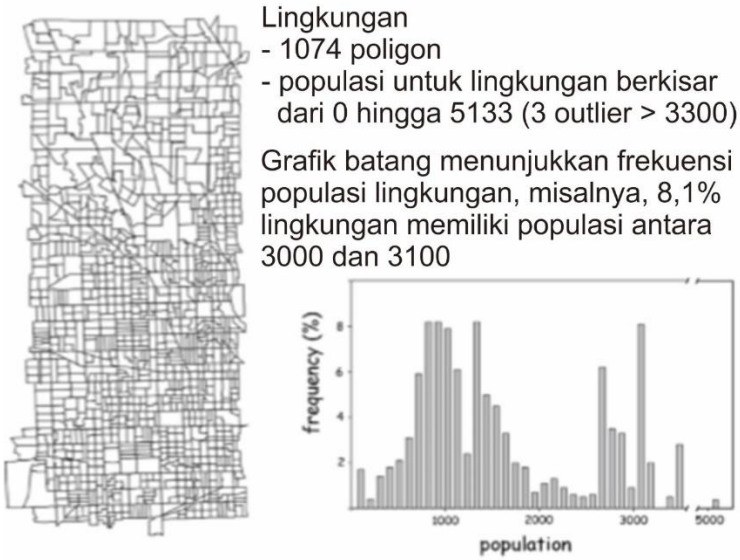
Klasifikasi biner menempatkan objek ke dalam dua kelas: 0 dan 1, benar dan salah, A dan B, atau beberapa klasifikasi dua tingkat lainnya. Sekumpulan fitur dipilih dan diberi nilai, dan pelengkap dari set, semua fitur yang tersisa di layer data, diberi nilai biner yang berbeda.

Klasifikasi biner sering digunakan untuk menyimpan hasil dari operasi seleksi yang kompleks. Urutan ekspresi Boolean dan himpunan aljabar dapat digunakan untuk memilih sekumpulan fitur. Atribut target spesifik diidentifikasi untuk set fitur yang dipilih. Atribut target ini diberi nilai unik. Atribut target diberi nilai yang berbeda untuk semua fitur yang tidak dipilih. Ini membuat kolom yang mengidentifikasi set yang dipilih; misalnya semua kabupaten yang kecil, tetapi dengan jumlah penduduk yang besar.

Mendefinisikan tabel klasifikasi secara manual mungkin tidak selalu diperlukan, dan mungkin membosankan atau rumit. Misalkan kita ingin menetapkan satu set warna tampilan ke satu set nilai elevasi. Mungkin ada ribuan nilai elevasi yang berbeda di layer data, dan akan sangat merepotkan untuk menetapkan setiap warna secara manual. Metode klasifikasi otomatis sering digunakan dalam kasus ini.

Klasifikasi otomatis menggunakan beberapa aturan untuk menentukan kelas input ke tugas kelas output. Batas kelas input dan output sering didasarkan pada seperangkat parameter yang digunakan untuk memandu definisi kelas.

Kelemahan potensial dari tugas kelas otomatis berasal dari ketidakmampuan kami untuk secara tepat menentukan batas kelas. Rumus matematika atau algoritme mendefinisikan batas kelas, sehingga kelas tertentu yang diminati dapat dibagi. Dengan demikian, analis mengorbankan kontrol yang tepat atas spesifikasi kelas ketika klasifikasi otomatis digunakan. Waktu yang cukup dapat dihemat dengan penugasan kelas otomatis, tetapi analis mungkin harus secara manual mengubah beberapa batas kelas sebagai satu-satunya cara untuk mencapai klasifikasi yang diinginkan.



Gambar 9.11: Poligon lingkungan dan tingkat populasi yang digunakan dalam contoh penugasan klasifikasi berikutnya. Populasi untuk 1074 lingkungan ini berkisar dari 0 hingga 5133. Histogram di kanan bawah menunjukkan distribusi frekuensi. Perhatikan bahwa ada

jeda pada grafik antara 3500 dan 5000 untuk menunjukkan tiga lingkungan "pencilan" dengan populasi di atas 3300.

Gambar diatas menjelaskan layer data yang akan kita gunakan untuk menggambarkan tugas kelas otomatis. Gambar tersebut menunjukkan satu set "lingkungan" dengan populasi yang berkisar dari 0 hingga 5133. Kami ingin menampilkan lingkungan dan populasi dalam tiga kelas yang berbeda, populasi tinggi, sedang, dan rendah. Tinggi akan ditampilkan dalam warna hitam, sedang dalam warna abu-abu, dan rendah dalam warna putih. Kita harus memutuskan bagaimana menetapkan kategori—tingkat populasi apa yang menentukan tinggi, sedang, dan rendah? Dalam banyak aplikasi, tingkat klasifikasi telah ditentukan sebelumnya. Mungkin ada standar yang disepakati untuk populasi tinggi, dan kami hanya akan menggunakan level ini. Namun, dalam banyak kasus kelas tidak didefinisikan, dan kita harus memilihnya.

Gambar mencakup grafik batang yang menggambarkan distribusi frekuensi populasi; jenis grafik batang ini biasa disebut histogram. Histogram frekuensi menunjukkan jumlah lingkungan yang ditemukan di setiap bar (atau "bin") dari satu set kategori populasi yang sangat sempit. Misalnya, kita dapat menghitung jumlah lingkungan yang memiliki populasi antara 3000 hingga 3100. Jika sebuah lingkungan memiliki 3037, 3004, 3088, atau angka lain antara 3000 dan 3100, kami menambahkan satu ke jumlah frekuensi kami untuk kategori yang mencakup 3000 dan 3100. Kami meninjau semua lingkungan di daerah kami, dan kami memplot persentase lingkungan yang memiliki populasi antara 3000 dan 3100 sebagai batang vertikal pada histogram. Sekitar 8,1% lingkungan memiliki populasi dalam kisaran ini, sehingga garis vertikal yang sesuai dengan tinggi 8,1 unit diplot. Kami menghitung dan memplot nilai histogram untuk setiap kategori sempit kami (misalnya, angka dari 0 hingga 100, dari 100 hingga 200, dari 200 hingga 300), hingga nilai populasi tertinggi diplot.

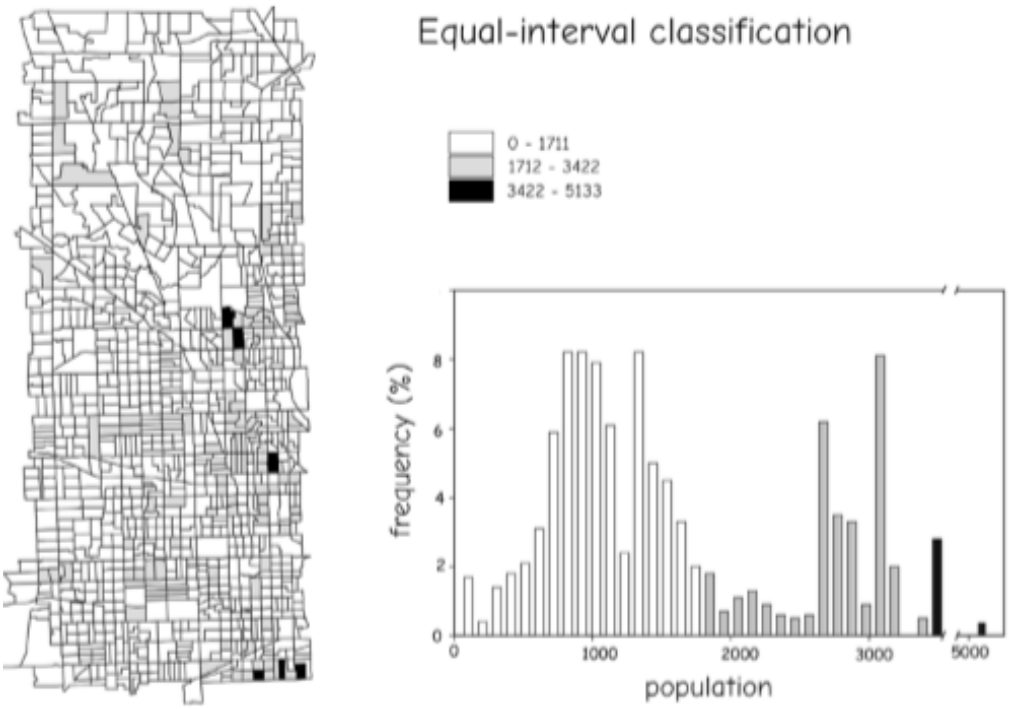
Keputusan utama kami dalam tugas kelas adalah di mana menempatkan batas-batas kelas. Haruskah kita menempatkan batas antara kelas populasi rendah dan menengah pada 1000, atau pada 1200? Di mana sebaiknya batas antara kelas penduduk menengah dan tinggi ditempatkan? Letak batas kelas akan mengubah tampilan peta, dan juga klasifikasi yang dihasilkan.

Salah satu metode umum untuk klasifikasi otomatis menentukan jumlah kelas output dan meminta kelas interval yang sama pada rentang nilai input. Klasifikasi interval yang sama ini hanya mengurangi nilai terendah dari variabel klasifikasi dari nilai tertinggi, dan mendefinisikan batas lebar yang sama agar sesuai dengan jumlah kelas yang diinginkan ke dalam rentang.

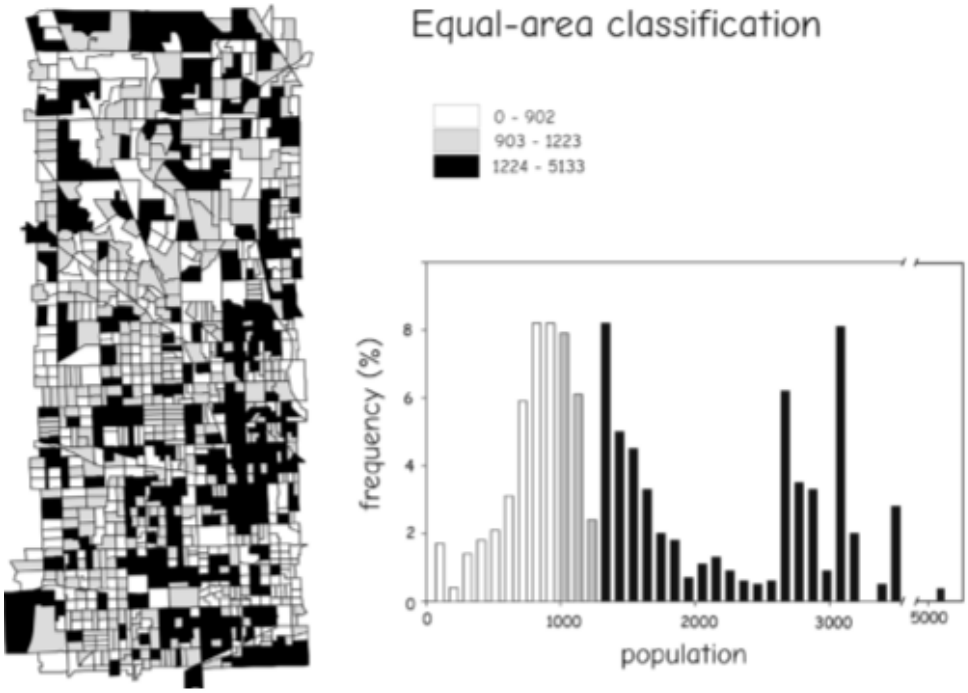
Gambar 9.12 mengilustrasikan klasifikasi interval yang sama untuk variabel populasi. Tiga kelas yang ditetapkan pada rentang 0 hingga 5133 ditentukan. Setiap interval kira-kira sepertiga dari kisaran ini. Rentang ini dibagi rata dengan 1711. Kelas kecil membentang dari 0 hingga 1711, kelas menengah dari 1712 hingga 3422, dan kelas besar dari 3423 hingga 5133. Kategori populasi ditampilkan dengan warna yang sesuai pada peta dan grafik batang, dengan kelas kecil (putih), sedang (abu-abu), dan besar (hitam) ditampilkan.

Perhatikan bahwa kelas populasi rendah yang ditunjukkan dengan warna putih mendominasi peta; sebagian besar lingkungan termasuk dalam kelas populasi ini. Ini sering terjadi ketika ada fitur yang memiliki nilai jauh lebih tinggi dari norma. Ada beberapa lingkungan dengan populasi di atas 5000 (di sebelah kanan jeda pada sumbu populasi grafik batang), sementara

sebagian besar lingkungan memiliki populasi di bawah 3000. Pencilan menggeser batas kelas ke nilai yang lebih tinggi, 1711 dan 3422, menghasilkan sebagian besar lingkungan termasuk dalam kategori populasi kecil.



Gambar 9.12: Klasifikasi interval yang sama. Rentang 0 hingga 5133 dibagi menjadi tiga bagian yang sama. Warna ditetapkan seperti yang ditunjukkan pada peta layer (kiri), dan di plot frekuensi (kanan). Perhatikan poligon yang relatif sedikit yang ditetapkan untuk kelas tinggi dalam warna hitam. Beberapa lingkungan dengan populasi mendekati 5000 menggeser batas kelas ke atas.



Gambar 9.13 : Klasifikasi daerah yang sama. Batas kelas diatur sedemikian rupa sehingga setiap kelas memiliki luas total yang kira-kira sama. Ini sering mengarah ke rentang yang lebih kecil ketika kelompok kelas yang sering ditemukan. Dalam hal ini kelas menengah mencakup rentang yang kecil, dari 903 hingga 1223, sedangkan kelas populasi tinggi mencakup rentang yang hampir 10 kali lebih luas, dari 1224 hingga 5133.

Metode umum lainnya untuk tugas kelas menghasilkan klasifikasi area yang sama. Batas kelas didefinisikan untuk menempatkan proporsi yang sama dari wilayah studi ke dalam masing-masing sejumlah kelas tertentu. Ini biasanya mengarah ke peta yang seimbang secara visual karena semua kelas memiliki luasan yang kira-kira sama. Kelas area yang sama sering diinginkan, misalnya, ketika sumber daya perlu didistribusikan ke area yang sama, atau ketika wilayah penjualan yang tumpang tindih dengan ukuran yang sama mungkin ditentukan.

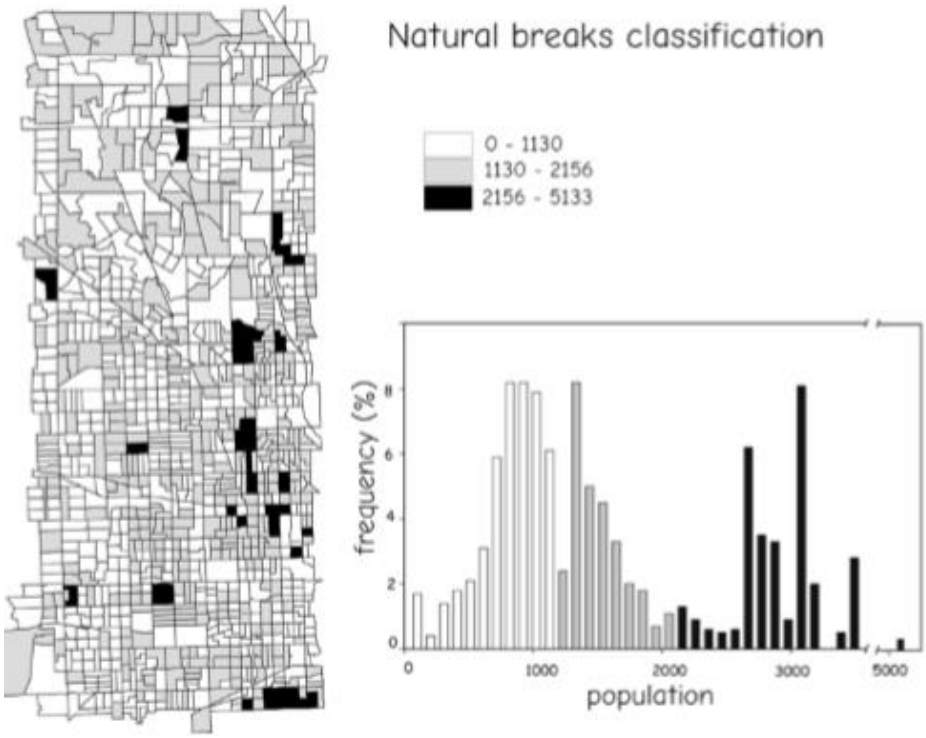
Perhatikan bahwa lebar kelas dapat berubah secara signifikan dengan klasifikasi area yang sama. Klasifikasi area yang sama menetapkan batas kelas sehingga setiap kelas mencakup area yang kira-kira sama. Sebuah kelas dapat terdiri dari beberapa atau bahkan satu poligon besar. Ini menghasilkan kisaran kecil untuk kelas poligon besar. Kelas juga cenderung memiliki rentang nilai yang sempit di dekat puncak histogram. Banyak poligon direpresentasikan pada puncak histogram, sehingga ini mungkin berhubungan dengan area yang luas. Kedua efek ini diilustrasikan pada diatas.Kelas menengah dari klasifikasi area yang sama terjadi pada nilai populasi antara 903 dan 1223. Rentang populasi ini mendekati puncak dalam histogram frekuensi, dan tingkat populasi ini dikaitkan dengan poligon yang lebih besar. Kelas menengah ini mencakup kisaran sekitar 300 unit populasi, sedangkan kelas kecil dan besar masing-masing menjangkau sekitar 900 dan 4000 unit populasi. Perhatikan bahwa penetapan area yang sama mungkin sangat miring ketika ada beberapa poligon dengan area yang luas, dan poligon ini memiliki nilai yang serupa. Meskipun tidak terjadi dalam contoh kita, mungkin ada hubungan antara populasi dan luas untuk beberapa lingkungan. Misalkan dalam kumpulan data yang mirip dengan kita ada satu lingkungan yang sangat besar yang didominasi oleh besar

taman. Lingkungan ini memiliki populasi terendah dan area terbesar. Klasifikasi equalarea dapat menempatkan lingkungan ini di kelasnya sendiri. Jika persil besar juga terjadi dengan tingkat populasi tinggi, kita mungkin mendapatkan tiga kelas: satu persil di kelas kecil, satu persil di kelas populasi tinggi, dan semua persil yang tersisa di kelas populasi sedang. Sementara sebagian besar klasifikasi area yang sama tidak terlalu ekstrem, persil unik dapat sangat mempengaruhi rentang kelas dalam klasifikasi area yang sama. Kami akan membahas metode terakhir untuk klasifikasi otomatis, metode yang didasarkan pada jeda alami, atau celah, dalam data. Klasifikasi jeda alami mencari jeda "jelas". Ini mencoba untuk mengidentifikasi cluster data yang terjadi secara alami, bukan cluster berdasarkan hubungan spasial, melainkan cluster berdasarkan variabel pemesanan.

Ada berbagai metode yang digunakan untuk mengidentifikasi jeda alami. Kesenjangan besar dalam daftar nilai yang berurutan adalah salah satu metode umum. Nilai-nilai terdaftar dari terendah ke tertinggi, dan kesenjangan terbesar dalam nilai yang dipilih. Jika tidak ada celah, titik rendah dalam histogram frekuensi dapat diidentifikasi. Biasanya ada upaya untuk menyeimbangkan kebutuhan kelas yang relatif luas dan merata dan pencarian kesenjangan alami. Banyak kelas sempit dan satu kelas besar mungkin tidak dapat diterima dalam banyak kasus, dan mungkin ada kasus di mana jumlah celah yang ditentukan tidak terjadi dalam histogram data. Lebih banyak kelas mungkin diminta daripada celah yang jelas, sehingga

beberapa metode jeda alami menyertakan metode alternatif, misalnya, interval dengan jarak yang sama, untuk bagian histogram di mana tidak ada celah alami.

Gambar diatas mengilustrasikan klasifikasi jeda alami. Dua jeda terlihat jelas dalam histogram, satu di dekat 1300 dan satu di dekat 2200 orang per lingkungan. Populasi kecil, menengah, dan besar ditempatkan pada titik-titik ini.



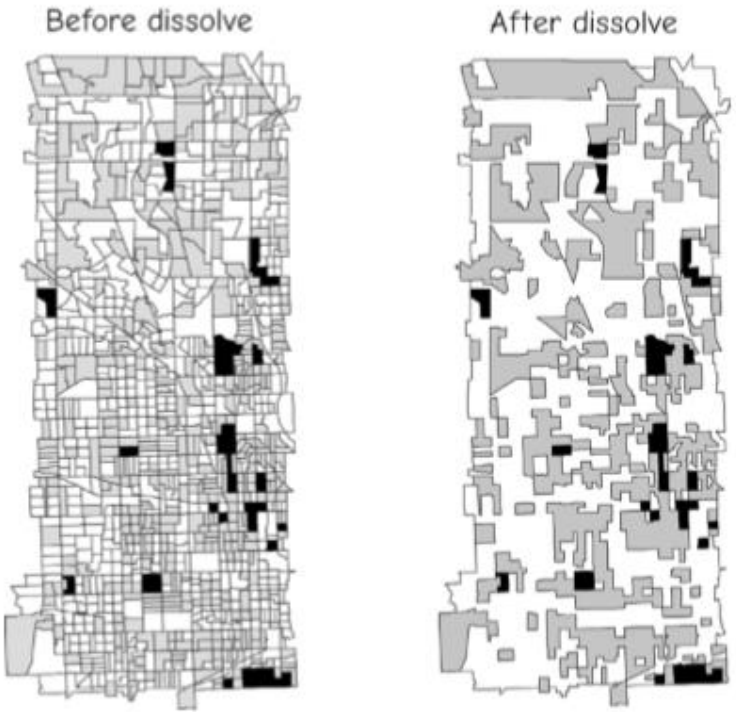
Gambar 9.14 : Natural breaks classification. Boundaries between classes are placed where natural gaps or low points occur in the frequency distribution.

9.3 Dissolve

Fungsi pembubaran terutama digunakan untuk menggabungkan fitur serupa dalam layer data. Poligon yang berdekatan mungkin memiliki nilai yang identik untuk sebuah atribut. Misalnya, layer data lahan basah dapat menentukan poligon dengan beberapa subkelas, seperti lahan basah berhutan, lahan basah herba, atau perairan terbuka. Jika analisis mengharuskan kami mengidentifikasi hanya area lahan basah vs. area dataran tinggi, maka kami mungkin ingin membubarkan semua batas antara lahan basah yang berdekatan. Kami hanya tertarik untuk melestarikan batas lahan basah/dataran tinggi.

Operasi dissolve biasanya diterapkan berdasarkan atribut "dissolve" tertentu yang terkait dengan setiap fitur. Nilai atau kumpulan nilai diidentifikasi yang termasuk dalam pengelompokan yang sama. Setiap garis yang berfungsi sebagai batas antara dua fitur poligon dinilai. Nilai-nilai untuk atribut dissolve dibandingkan melintasi garis batas. Jika nilainya sama, garis batas dihilangkan, atau dihilangkan. Jika nilai untuk atribut dissolve berbeda melintasi batas, garis batas dibiarkan utuh. Gambar 9-20 mengilustrasikan operasi pembubaran yang menghasilkan klasifikasi biner.

Operasi pe*dissolve*an seringkali diperlukan sebelum menerapkan pemilihan berbasis area dalam analisis spasial. Sebagai contoh, kita mungkin ingin memilih area dari klasifikasi jeda alami yang ditunjukkan di sebelah kiri gambar dibawah ini



Gambar 9.15 : Contoh operasi pembubaran. Perhatikan penghapusan garis yang memisahkan poligon dengan kelas ukuran yang sama. Ini sangat mengurangi jumlah poligon.

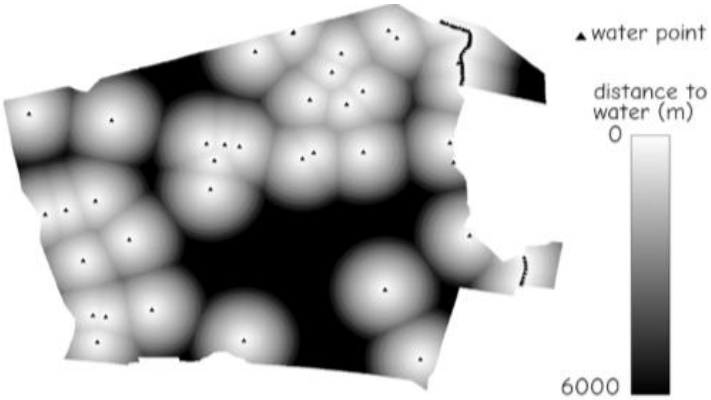
Kami mencari poligon yang luasnya lebih dari tiga mi2 dan memiliki populasi sedang. Poligon dapat terdiri dari beberapa lingkungan. Kami biasanya harus membubarkan batas-batas antara tetangga berukuran sedang yang berdekatan sebelum menerapkan uji ukuran. Jika tidak, dua lingkungan populasi menengah yang berdekatan dapat dibuang karena keduanya mencakup sekitar dua mil2. Total area mereka adalah empat mi2, di atas ambang batas yang ditentukan, namun mereka tidak akan dipilih kecuali jika pembubaran diterapkan terlebih dahulu.

Dissolves juga membantu dalam menghilangkan informasi yang tidak dibutuhkan. Setelah klasifikasi ke dalam kelas ukuran kecil, menengah, dan besar, banyak batas mungkin menjadi berlebihan. Batasan yang tidak diperlukan dapat meningkatkan penyimpanan dan pemrosesan yang lambat. Dissolve memiliki keuntungan menghapus data geografis dan tabular yang tidak dibutuhkan, sehingga menyederhanakan data, meningkatkan kecepatan pemrosesan, dan mengurangi volume data.

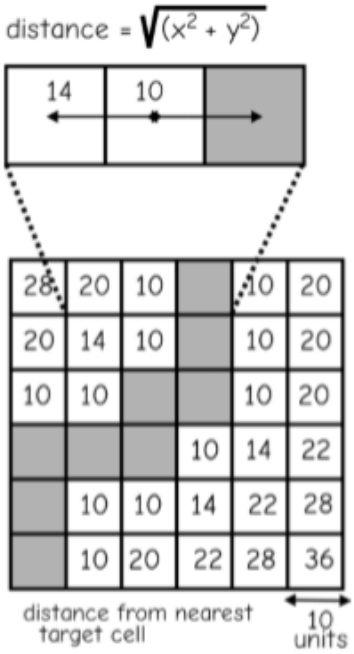
Gambar tersebut diatas mengilustrasikan penghematan ruang dan pengurangan kompleksitas yang umum saat menerapkan fungsi disolusi. Jumlah poligon berkurang sekitar sembilan kali lipat dengan pe*dissolve*an, dari 1074 di sebelah kiri menjadi 119 poligon di sebelah kanan Gambar.

9.4 Fungsi Kedekatan dan Buffer

Fungsi atau operasi kedekatan adalah salah satu alat analisis spasial yang paling kuat dan umum. Banyak pertanyaan penting bergantung pada kedekatan, jarak antara fitur yang menarik. Seberapa dekat sekolah dengan kilang minyak, lingkungan mana yang jauh dari toko serba ada, dan rumah mana yang akan terpengaruh oleh peningkatan kebisingan jalan raya? Banyak pertanyaan tentang kedekatan dijawab melalui analisis spasial dalam GIS.



Gambar 9.16: Contoh fungsi jarak Fungsi jarak ini diterapkan ke layer data titik dan membuat layer data raster. Layer raster berisi jarak ke fitur air terdekat.



Gambar 9.17 : Fungsi jarak diterapkan ke kumpulan data raster.

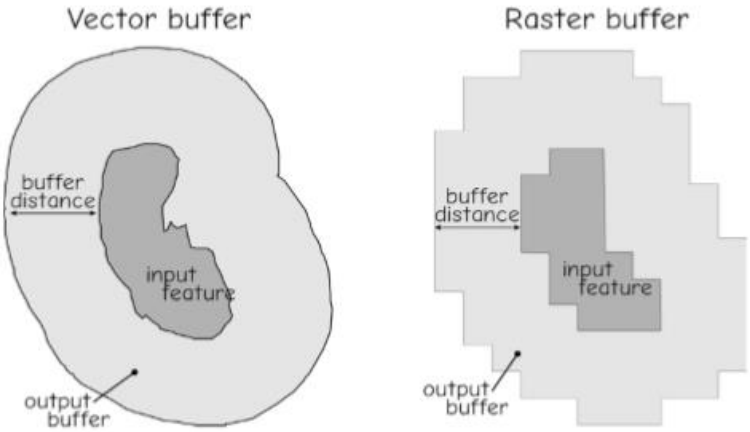
Fungsi kedekatan memodifikasi fitur yang ada atau membuat fitur baru yang bergantung pada jarak tertentu. Misalnya, satu fungsi kedekatan sederhana membuat raster jarak minimum dari sekumpulan fitur. Gambar tersebut menunjukkan fungsi jarak yang diterapkan pada lubang air di suaka margasatwa. Air adalah sumber daya yang penting bagi hampir semua hewan, dan pengelola cagar alam mungkin ingin memastikan bahwa sebagian besar wilayah berada dalam jarak dekat dengan air. Dalam hal ini fitur titik dimasukkan yang mewakili lokasi air permanen. Lubang air diwakili oleh titik individu, dan sungai oleh sekelompok titik yang

ditetapkan di sepanjang aliran sungai. Fungsi kedekatan menghitung jarak ke semua titik air untuk setiap sel raster. Jarak minimum dipilih dan ditempatkan dalam layer data raster output. Fungsi jarak menciptakan mosaik dari apa yang tampak seperti lingkaran yang tumpang tindih. Meskipun skema bayangan menunjukkan transisi yang tampaknya tiba-tiba, sel raster mengandung gradien halus di kejauhan dari setiap fitur air.

Nilai jarak dihitung berdasarkan rumus Pythagoras. Nilai-nilai ini biasanya dihitung dari pusat sel ke pusat sel ketika diterapkan ke kumpulan data raster. Meskipun jarak apa pun dimungkinkan, jarak antara sel yang berdekatan berubah dalam interval diskrit yang terkait dengan ukuran sel. Perhatikan bahwa jarak tidak terbatas pada kelipatan genap dari ukuran sel, karena jarak yang diukur pada sudut diagonal bukan kelipatan genap dari dimensi sel. Mungkin tidak ada sel yang berada pada jarak tertentu dari fitur target; namun, mungkin ada banyak sel yang kurang dari atau lebih besar dari jarak tetap tersebut.

9.4.1 Buffer

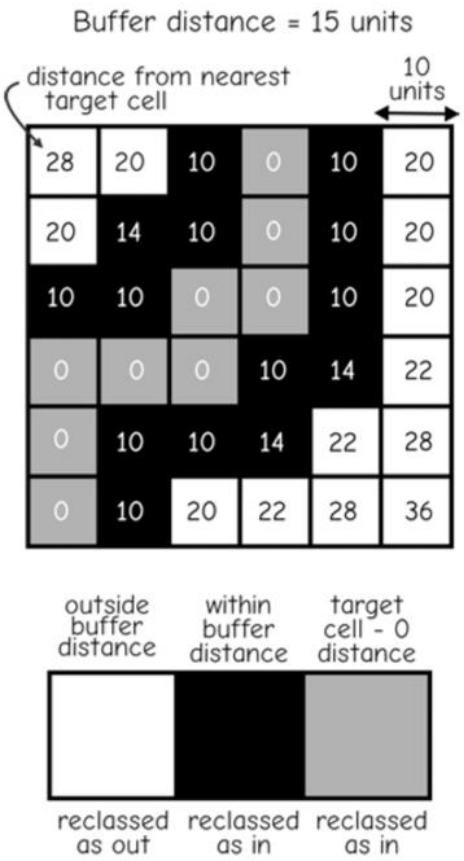
Buffering adalah salah satu fungsi proximity yang paling umum digunakan. Buffer adalah wilayah yang kurang dari atau sama dengan jarak tertentu dari satu atau lebih fitur. Buffer dapat ditentukan untuk fitur titik, garis, atau area, dan untuk data raster atau vektor. Buffering adalah proses membuat buffer. Buffer biasanya mengidentifikasi area yang "di luar" beberapa jarak ambang yang diberikan dibandingkan dengan yang "di dalam" beberapa jarak ambang batas. Buffer sering digunakan karena banyak analisis spasial berkaitan dengan batasan jarak. Misalnya, perencana darurat mungkin ingin mengetahui sekolah mana yang berada dalam jarak 1,5 kilometer dari patahan gempa, perencana taman mungkin ingin mengidentifikasi semua lahan yang berjarak lebih dari 10 kilometer dari jalan raya terdekat, atau pemilik bisnis mungkin ingin mengidentifikasi semua pelanggan potensial di dalamnya. radius tertentu dari tokonya. Semua pertanyaan ini dapat dijawab dengan penggunaan buffering yang tepat



Gambar 9.18: Contoh buffer vektor dan raster yang diturunkan dari fitur poligonal. Buffer didefinisikan oleh area yang berada dalam jarak buffer tertentu dari fitur input.

9.4.2 Buffer Raster

Operasi buffer pada data raster memerlukan penghitungan jarak dari setiap pusat sel sumber ke semua pusat sel lainnya. Sel output diberi nilai setiap kali jarak sel ke sel kurang dari jarak buffer yang ditentukan. Sel-sel yang lebih jauh dari jarak buffer diberi nilai keluar.



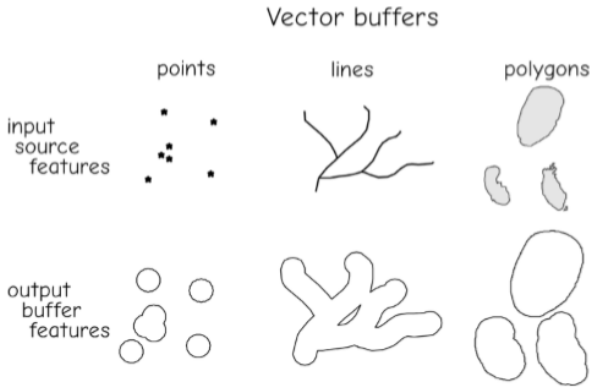
Gambar 9.19 : Buffer raster sebagai kombinasi jarak dan klasifikasi. Di sini, sel kurang dari 15 unit dari sel target diidentifikasi.

Buffer raster menggabungkan fungsi jarak minimum dan fungsi klasifikasi biner. Fungsi jarak minimum menghitung jarak terpendek dari sekumpulan fitur target dan menyimpan jarak ini dalam layer data raster. Fungsi klasifikasi biner membagi sel raster menjadi dua kelas: yang memiliki jarak lebih besar dari nilai ambang batas, dan yang memiliki jarak kurang dari atau sama dengan nilai ambang batas.

Buffering dengan data raster dapat menghasilkan batas "tangga", karena jarak dari fitur diukur antara pusat sel. Ketika jarak buffer berjalan paralel dan dekat satu set batas sel, batas buffer dapat "melompat" dari satu baris sel ke baris berikutnya. Fenomena ini paling sering menjadi masalah ketika ukuran sel raster relatif besar terhadap jarak buffer. Jarak buffer 100 m dapat diperkirakan bila diterapkan pada raster dengan ukuran sel 30 m. Ukuran sel yang lebih kecil relatif terhadap jarak buffer menghasilkan "langkah-langkah" yang kurang jelas. Ukuran sel harus relatif kecil terhadap akurasi spasial data, dan relatif kecil terhadap jarak buffer. Jika aturan ini diikuti, maka langkah-langkah tangga seharusnya tidak menjadi masalah, karena ukuran buffer harus berkali-kali lebih besar daripada ketidakpastian yang melekat pada data.

9.4.3 Buffer Vektor

Buffer vektor dapat diterapkan pada fitur titik, garis, atau area, tetapi terlepas dari input, buffering selalu menghasilkan serangkaian output fitur area. Ada banyak variasi dalam buffering vektor. Buffer sederhana, juga dikenal sebagai buffer jarak tetap, adalah bentuk buffer vektor yang paling umum.



Gambar 9.20: Buffer vektor yang dihasilkan dari fitur input titik, garis, atau poligon. Dalam semua kasus, outputnya adalah sekumpulan fitur poligon.

Buffering sederhana mengidentifikasi area yang jaraknya tetap atau lebih besar dari sekumpulan fitur input. Buffering sederhana tidak membedakan antara region yang dekat dengan satu fitur dari yang dekat dengan lebih dari satu fitur. Lokasi berada dalam jarak tertentu dari salah satu dari serangkaian fitur, atau lebih jauh. Buffering sederhana menggunakan jarak buffer yang seragam untuk semua fitur. Jarak buffer 100 meter yang ditentukan untuk layer jalan dapat diterapkan pada setiap jalan di layer tersebut, terlepas dari ukuran, bentuk, atau lokasi jalan. Dengan cara yang sama, jarak buffer untuk semua titik dalam layer titik akan seragam, dan jarak buffer untuk semua fitur area akan diperbaiki.

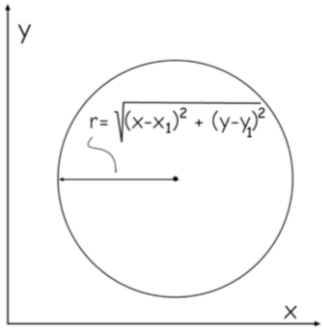
Buffering pada data titik vektor didasarkan pada pembuatan lingkaran di sekitar setiap titik dalam kumpulan data. Rumus lingkaran yang berawal di x=0, y=0 adalah:

$$\mathrm{r} = \sqrt{\mathrm{x}^2 + y^2}$$

dimana r adalah jarak buffer. Rumus yang lebih umum untuk lingkaran dengan pusat di x^1, y^1, adalah:

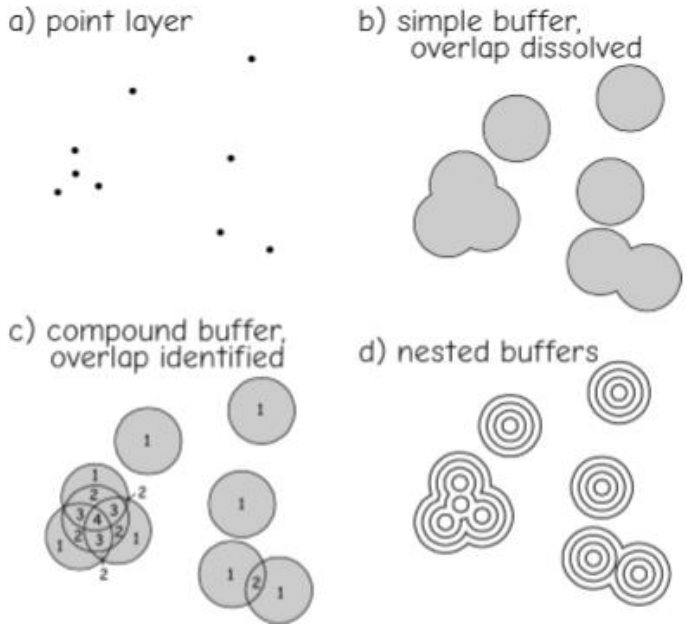
$$\mathrm{r} = \sqrt{(\mathrm{x} - +x1)^2 \ + (y - y1)^2}$$

Rumus pertama direduksi menjadi rumus keduadi titik asal, di mana x1 = 0, dan y1 = 0. Rumus umum membuat lingkaran berpusat pada koordinat x1, y1, dengan jarak buffer sama dengan jari-jari, r. Buffer titik dibuat dengan menerapkan rumus lingkaran ini secara berurutan ke setiap fitur titik dalam layer data. Lokasi koordinat x dan y dari setiap fitur titik digunakan untuk x1 dan y1, menempatkan fitur titik di tengah lingkaran.



Gambar 9.21: Kalkulasi Poin buffer

Lingkaran buffer mungkin tumpang tindih, dan dalam buffering sederhana, batas lingkaran yang terjadi di area tumpang tindih dihilangkan. Misalnya, area dalam jarak 10 km dari lokasi limbah berbahaya dapat diidentifikasi dengan membuat layer buffer.

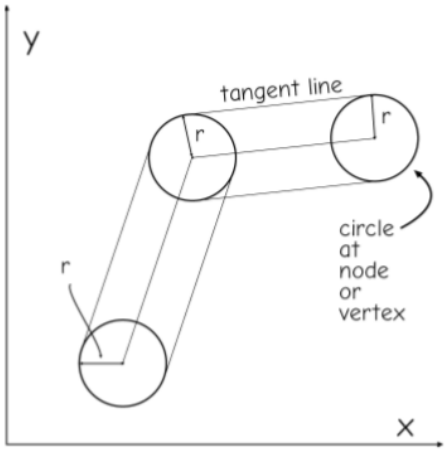


Gambar 9.22 : Berbagai jenis buffer titik. Buffer sederhana melarutkan area di dekat banyak fitur, buffer yang lebih kompleks tidak. Buffer Multi Ring menyediakan zona yang ditentukan jarak di sekitar setiap fitur.

Metode buffering yang lebih kompleks dapat diterapkan. Metode ini dapat mengidentifikasi area buffer dengan jumlah fitur dalam jarak buffer yang diberikan, atau menerapkan jarak buffer variabel tergantung pada karakteristik fitur input. Kami mungkin tertarik pada area yang dekat dengan beberapa lokasi limbah berbahaya. Area-area di dekat beberapa lokasi berbahaya ini dapat menimbulkan risiko tambahan dan oleh karena itu memerlukan pemantauan atau perawatan khusus. Kami mungkin diberi mandat untuk mengidentifikasi semua area dalam jarak buffer dari lokasi limbah berbahaya, dan jumlah lokasi. Pada sebagian besar aplikasi, sebagian besar area berbahaya akan dekat dengan satu lokasi limbah berbahaya, tetapi beberapa akan dekat dengan dua, tiga, atau lebih lokasi. Buffer sederhana, yang dijelaskan di atas, tidak akan memberikan informasi yang diperlukan.

Varian buffering, disebut di sini sebagai buffering majemuk, memberikan informasi yang dibutuhkan. Buffer majemuk mempertahankan semua batas yang tumpang tindih (Gambar c). Semua lingkaran yang ditentukan oleh jarak buffer radius tetap dihasilkan. Lingkaran-lingkaran ini kemudian berpotongan untuk membentuk grafik planar. Untuk setiap area, atribut dibuat yang mencatat jumlah fitur dalam jarak buffer yang ditentukan.

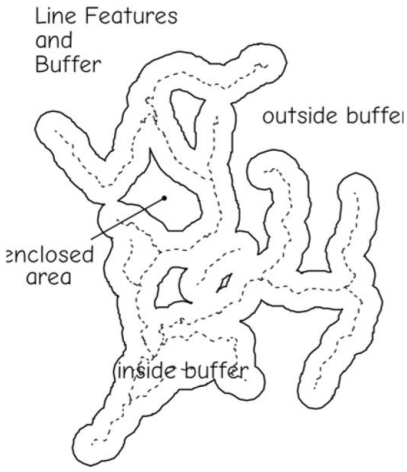
Bufferan Nested (atau multiring) adalah varian buffer umum lainnya (Gambar d). Kami mungkin memerlukan buffer pada beberapa jarak. Dalam contoh lokasi limbah berbahaya kami, anggaplah tingkat ambang batas telah ditetapkan dengan berbagai tindakan yang diperlukan untuk setiap ambang batas. Area yang sangat dekat dengan lokasi limbah berbahaya memerlukan evakuasi, jarak menengah memerlukan remediasi, dan area yang lebih jauh memerlukan pemantauan. Zona ini dapat ditentukan oleh buffer Nested.



Gambar 9.23 : Pembuatan buffer garis pada jarak tetap r.

Buffering pada data garis vektor dan poligon juga cukup umum. Pembentukan buffer garis dapat dibayangkan sebagai urutan langkah. Pertama, dibuat lingkaran yang berpusat di setiap simpul atau simpul. Garis singgung kemudian dihasilkan. Garis-garis ini sejajar dengan garis fitur input dan bersinggungan dengan lingkaran yang berpusat di setiap simpul atau simpul. Garis singgung dan lingkaran bergabung dan segmen lingkaran interior dibubarkan.

Lokasi garis singgung dan perpotongannya dengan lingkaran didasarkan pada seperangkat aturan dan aljabar yang rumit. Operasi ini mengidentifikasi segmen buffer yang menentukan batas antara area masuk dan keluar. Segmen ini disimpan untuk membuat buffer untuk setiap baris. Buffer untuk jalur terpisah mungkin tumpang tindih. Dengan buffering garis sederhana, batas-batas internal di daerah tumpang tindih dibubarkan. Buffer poligon mengikuti langkah serupa dan, tergantung pada fungsi buffer, dapat mengidentifikasi area internal poligon tertutup dan membubarkan batas internal.



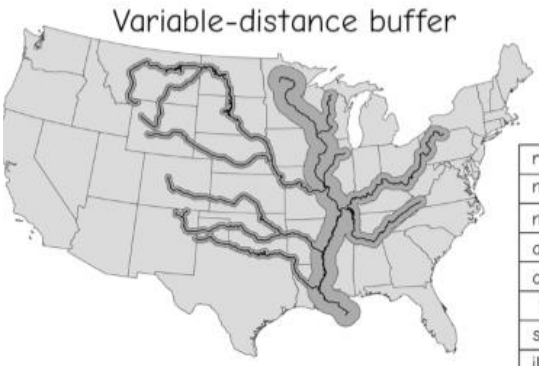
Gambar 9.24: Buffer dapat membagi geografi menjadi setidaknya tiga jenis fitur.

Perhatikan bahwa tiga jenis area berbeda dapat ditemukan saat membuat buffer garis sederhana. Tipe area pertama berada dalam jarak buffer fitur garis. Contoh area ini diberi label di dalam buffer pada Gambar diatas. Jenis area kedua benar-benar di luar buffer. Area ini diberi label di luar buffer pada gambar diatas. Jenis area ketiga diberi label area tertutup pada Gambar. Jenis area ini lebih jauh dari jarak buffer dari data jalur input, tetapi sepenuhnya

tertutup dalam poligon buffer sekitarnya. Area tertutup ini kadang-kadang terjadi saat buffering poin dan poligon, tetapi area tertutup paling sering terjadi saat buffering fitur garis.

Buffer jarak variabel adalah varian umum lain dari buffering vektor. Seperti yang ditunjukkan oleh namanya, jarak buffer bervariasi, dan dapat berubah di antara fitur. Jarak buffer dapat meningkat dalam beberapa langkah; misalnya, kita mungkin memiliki satu jarak buffer untuk sekumpulan fitur tertentu, dan jarak buffer yang berbeda untuk fitur yang tersisa. Sebaliknya, jarak buffer dapat bervariasi dengan lancar; misalnya, jarak buffer di sekitar kota mungkin merupakan fungsi dari kepadatan penduduk di kota tersebut.

Ada banyak contoh di mana kita mungkin memerlukan buffer jarak variabel. Keamanan publik memerlukan zona perlindungan yang berbeda yang bergantung pada besarnya bahaya. Kami mungkin ingin menentukan zona buffer yang lebih besar di sekitar fasilitas penyimpanan bahan bakar yang besar jika dibandingkan dengan fasilitas penyimpanan bahan bakar yang lebih kecil. Kami sering membutuhkan perlindungan yang lebih ketat lebih jauh dari sungai besar daripada sungai kecil, dan memberikan tempat pembuangan sampah yang lebih luas daripada tempat pembuangan sampah kecil.



river_identifier	buffdist
mississippi	100
missouri	50
arkansas	50
ohio	75
tennessee	75
st. croix	75
illinois	75
wisconsin	75

Gambar 9.25: Ilustrasi buffer jarak variabel. Buffer garis ditampilkan dengan jarak buffer variabel berdasarkan river_identifier. Jarak buffer variabel, buffdist, ditentukan dalam tabel dan diterapkan untuk setiap segmen sungai.

Gambar diatas mengilustrasikan pembuatan buffer di sekitar jaringan sungai. Buffer ini dapat digunakan untuk menganalisis atau membatasi penggunaan lahan di dekat sungai. Kami mungkin ingin meningkatkan jarak buffer untuk sungai yang lebih besar. Peningkatan jarak mungkin dimotivasi oleh peningkatan kemungkinan banjir di hilir, atau peningkatan kepekaan terhadap polusi, atau kemungkinan erosi tepian yang lebih tinggi karena ukuran sungai meningkat. Kita dapat menentukan jarak buffer 50 km untuk sungai kecil, 75 km untuk sungai ukuran menengah, dan 100 km untuk sungai besar. Ada banyak contoh lain ketika buffer jarak variabel diperlukan, misalnya, jarak yang lebih jauh dari jalan yang lebih bising, area yang lebih kecil di mana perjalanan sulit dilakukan, atau buffer yang lebih besar di sekitar tempat pembuangan sampah yang lebih besar.

Jarak buffer variabel sering ditentukan oleh atribut di layer data input. Hal ini diilustrasikan pada Gambar. Sebagian dari tabel atribut untuk layer data sungai ditampilkan. Tabel atribut berisi nama sungai di river_identifier dan jarak buffer disimpan di buffdist. Atribut buffdist diakses selama pembuatan buffer, dan ukuran buffer disesuaikan secara otomatis untuk

setiap segmen garis. Perhatikan bagaimana ukuran buffer bergantung pada nilai dalam buffdist.

9.5 Membuat Kelas Fitur Spasial Berdasarkan Kedekatan, Overlay, dan Atribut

9.5.1 Menghasilkan Fitur Berdasarkan Kedekatan: Buffering

Kedekatan adalah kata yang menyiratkan kedekatan dalam hal jarak fisik. Ini bukan kebalikan dari jarak, tetapi kedekatan yang besar menyiratkan jarak yang kecil. Kedekatan adalah sebuah konsep yang sangat mempengaruhi kehidupan dan aktivitas kita. Kita, bersama dengan sebagian besar hewan dengan kecerdasan tinggi, secara bawaan memahami gagasan itu. Kita ingin dekat dengan hal-hal yang menyenangkan dan bermanfaat, atau dengan hal-hal yang harus kita akses secara teratur, seperti teman, tempat kerja, dan belanja. Kita ingin jauh dari hal-hal yang tidak menyenangkan atau berbahaya, seperti sampah atau tanaman yang bau, orang yang menjengkelkan, atau kondisi lingkungan yang berbahaya. Sebagian besar undang-undang yang mengatur penggunaan lahan ditulis dengan konsep kedekatan di latar belakang—ini menetapkan batas kedekatan yang dapat diterima, biasanya sebagai jarak ambang. Contohnya adalah hukum yang mengatakan toko minuman keras tidak boleh ada dalam jarak 500 kaki dari halaman sekolah.

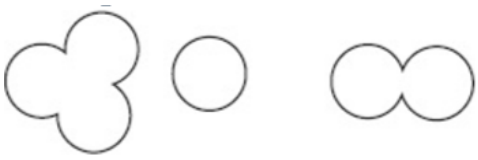
Alat analisis utama GIS yang mengimplementasikan konsep kedekatan menciptakan apa yang disebut buffer. Untuk membuat buffer, satu set fitur, katakanlah X, harus ditentukan. Sebuah jarak, katakanlah Y, harus ditentukan. Perangkat lunak kemudian menghasilkan buffer: satu set fitur area yang memiliki sifat bahwa setiap titik terletak dalam jarak tertentu dari fitur asli. Secara formal, buffer terdiri dari lokus titik-titik yang jaraknya dari masing-masing fitur di X kurang dari atau sama dengan jarak Y yang ditentukan.

Karena kita memiliki gagasan kedekatan yang intuitif, memahami apa itu buffer tidak terlalu menakutkan seperti yang disarankan oleh definisi tersebut. Anda menemukan konsep buffer dalam latihan pertama buku ini, ketika Anda memecahkan masalah Kapal Kucing Liar dengan cara manual. Ingatlah bahwa fasilitas pengujian harus berada dalam jarak 300 meter dari saluran pembuangan dan tidak boleh kurang dari 20 meter dari sungai. Artinya, fasilitas harus berada di dalam buffer selokan dan di luar buffer sungai.

9.5.2 Titik Buffer

Gambar ini menunjukkan seperti apa buffer di sekitar kumpulan fitur titik pada gambar di bawahnya.

Gambar 9.26 Titik yang akan di-buffer



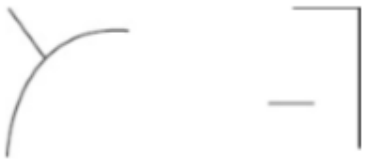
Gambar 9.27 Buffer di sekitar titik

Anda tidak melihat fitur titik pada yang kedua karena fitur titik bukan bagian dari buffer.

Selain penggambaran (geo)grafik dari area buffer, tabel atribut dibuat. Karena pembuatan area di dalam buffer juga dapat menyebabkan terbentuknya poligon yang berada di luar buffer, tabel atribut harus berisi bidang yang menunjukkan status setiap poligon: di dalam atau di luar. Untuk buffering dengan kelas fitur geodatabase, dihasilkan bidang yang berisi jarak yang digunakan dalam membuat poligon tertentu. Jika jarak tersebut nol, maka area tersebut tidak berada dalam buffer.

9.5.3 Garis Buffer dan Poligon

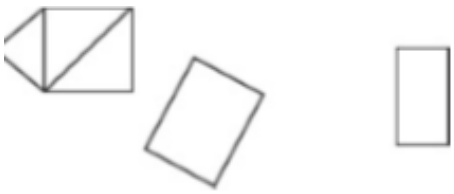
Fitur garis mungkin juga di-buffer. Luas poligon yang dihasilkan adalah yang dicakup oleh tempat kedudukan titik-titik yang terletak dalam jarak ambang batas setiap titik pada garis. Perhatikan gambar-gambar di bawah ini.



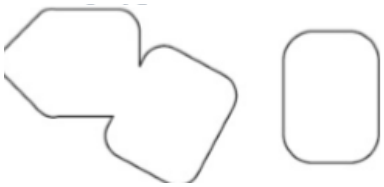
Gambar 9.28 Garis yang akan di-buffer

Gambar 9.29 Buffer di sekitar garis

Anda sekarang dapat melihat bahwa poligon buffer hanyalah perpanjangan dari ide-ide sebelumnya. Sekali lagi, poligon yang di-buffer, meskipun merupakan fitur areal, tidak terdapat di buffer. Perhatikan gambar pertama di bawah ini dan kemudian yang kedua.



Gambar 9.30 Poligon yang akan di-buffer



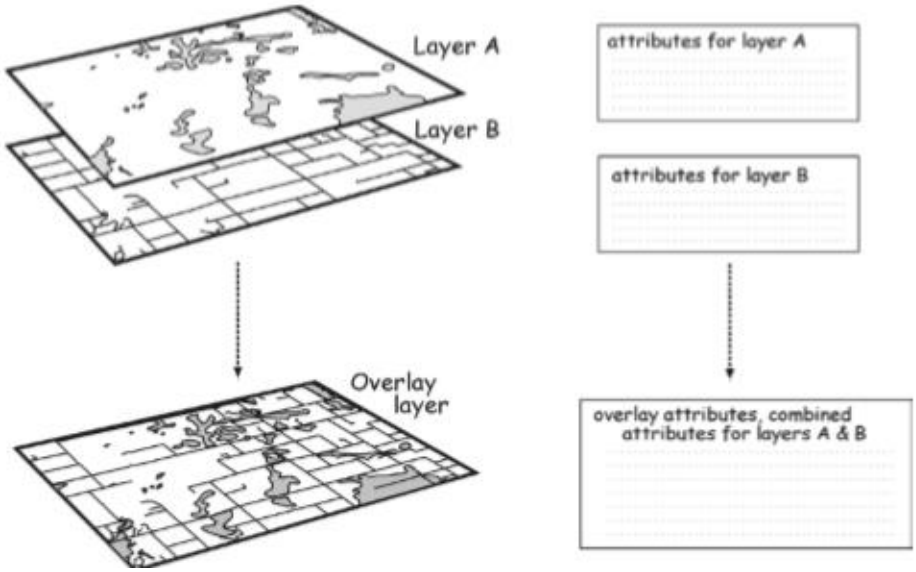
Gambar 9.31 Buffer di sekitar poligon

Ada banyak variasi pada tema buffering. Anda hanya dapat mem-buffer satu sisi garis. Anda dapat membuat agar buffer garis memiliki ujung yang rata, dalam hal ini area yang melewati ujung garis tidak termasuk dalam buffer. Sangat penting, Anda dapat mem-buffer fitur dengan ambang batas yang berbeda. Ambang batas diambil dari informasi dalam tabel atribut dari fitur yang di-buffer. Misalnya, Anda ingin menetapkan zona "dilarang merokok" di sekitar sumur. Mungkin fitur Anda terdiri dari sumur air, sumur minyak, dan sumur gas alam. Anda dapat mengatur segalanya sehingga sumur air di-buffer 30 meter, sumur minyak 100 meter, dan sumur gas 400 meter.

9.6 Overlay

Operasi overlay adalah alat analisis spasial yang kuat, dan merupakan kekuatan pendorong penting di balik pengembangan teknologi GIS. Overlay melibatkan penggabungan data spasial dan atribut dari dua atau lebih layer data spasial, dan merupakan salah satu operasi data spasial yang paling umum dan kuat. Banyak masalah memerlukan overlay data tematis yang berbeda. Sebagai contoh, kita mungkin ingin mengetahui di mana terdapat rumah-rumah murah di distrik sekolah yang baik, di mana tempat makan ikan paus tumpang tindih dengan area pengeboran minyak yang diusulkan, atau lokasi ladang pertanian yang berada di tanah yang sangat mudah tererosi. Dalam contoh terakhir, layer data tanah dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah yang sangat mudah tererosi, dan layer penggunaan lahan saat ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi lahan pertanian. Batas-batas tanah yang dapat tererosi tidak akan sesuai dengan batas-batas ladang pertanian dalam banyak kasus, sehingga data tanah dan penggunaan lahan ini entah bagaimana harus digabungkan. Overlay adalah cara utama untuk menyediakan kombinasi ini.

Operasi overlay mengharuskan layer data menggunakan sistem koordinat umum. Overlay menggunakan koordinat yang mendefinisikan setiap fitur spasial untuk menggabungkan data dari layer data input. Koordinat untuk setiap titik di Bumi bergantung pada sistem koordinat yang digunakan. Jika sistem koordinat yang digunakan di berbagai layer tidak persis sama, fitur di layer data tidak akan sejajar dengan benar.



Gambar 9.32: Overlay data spasial. Overlay menggabungkan informasi koordinat dan informasi atribut di berbagai layer data.

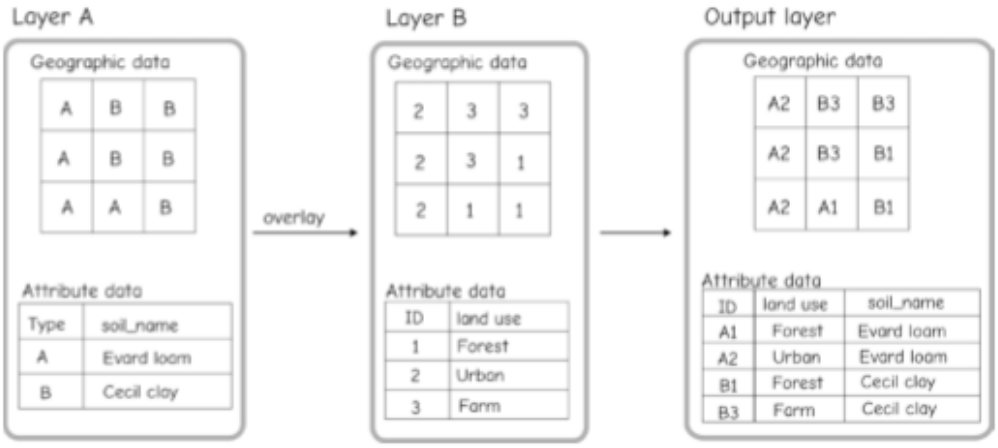
Overlay dapat dilihat sebagai penumpukan vertikal dan penggabungan data spasial. Fitur di setiap layer data ditetapkan satu "di atas" yang lain, dan titik, garis, atau batas fitur area digabungkan menjadi satu layer data. Data atribut juga digabungkan, sehingga layer data baru mencakup informasi yang terkandung dalam setiap layer data input.

9.6.1 Raster Overlay

Raster Overlay melibatkan kombinasi sel demi sel dari dua atau lebih layer data. Data dari satu layer di satu lokasi sel sesuai dengan sel di layer data lain. Nilai sel digabungkan dalam beberapa cara dan nilai output ditetapkan ke sel yang sesuai di layer output.

Raster Overlay biasanya diterapkan pada data nominal atau ordinal. Angka atau karakter yang disimpan di setiap sel raster mewakili kategori nominal atau ordinal. Setiap nilai sel sesuai dengan kategori untuk variabel raster. Hal ini diilustrasikan dalam set data input yang ditunjukkan di kiri dan tengah Gambar. Input Layer A mewakili data tanah. Setiap nilai sel raster sesuai dengan nilai tanah tertentu. Dengan cara yang sama, input Layer B mencatat penggunaan lahan, dengan nilai 1, 2, dan 3 yang sesuai dengan penggunaan lahan tertentu. Data ini dapat digabungkan untuk membuat area yang menggabungkan dua layer input – sel dengan nilai untuk jenis tanah dan penggunaan lahan.

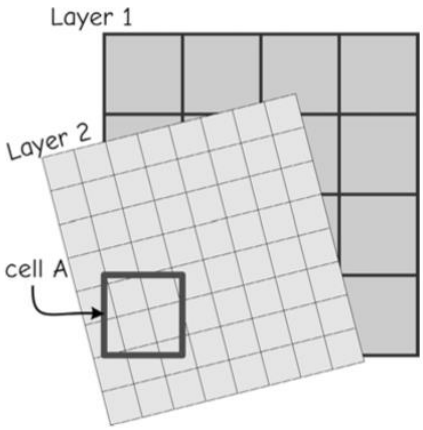
Ada banyak kategori output potensial karena ada kemungkinan kombinasi nilai layer input. Pada Gambar dibawah iini ada dua jenis tanah di Layer A, dan tiga jenis penggunaan lahan di Layer B. Mungkin ada 3 x 2, atau enam kombinasi berbeda di layer output. Tidak semua kombinasi harus terjadi dalam overlay, seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini. Dalam contoh ini hanya empat dari enam kombinasi overlay yang terjadi. Pengidentifikasi unik harus dibuat untuk setiap kombinasi yang diamati, dan ditempatkan di sel yang sesuai dari layer raster output.



Gambar 9.33 : Kombinasi sel demi sel dalam overlay raster. Dua layer input digabungkan dalam overlay raster. Variabel nominal untuk sel yang sesuai digabungkan, menciptakan layer output baru. Dalam contoh ini layer tanah (Layer A) digabungkan dengan layer penggunaan lahan (Layer B) untuk membuat layer Output komposit.

Jumlah kemungkinan kombinasi penting untuk diperhatikan karena dapat mengubah jumlah digit biner atau byte yang diperlukan untuk mewakili layer data raster output. Sel raster biasanya berisi angka atau karakter, dan mungkin berupa bilangan bulat satu byte, bilangan bulat dua byte, atau ukuran lainnya. Kumpulan data raster biasanya menggunakan ukuran

data terkecil yang diperlukan. Satu byte yang tidak ditandatangani dapat menyimpan hingga 256 nilai yang berbeda. Overlay raster dapat menghasilkan layer data output yang memerlukan jumlah byte per sel yang lebih tinggi. Pertimbangkan overlay antara dua layer data raster, satu layer yang berisi 20 kelas nominal yang berbeda, dan layer kedua dengan 27 kelas nominal yang berbeda. Ada total 20 kali 27, atau 540, kemungkinan kombinasi output. Jika lebih dari 256 kombinasi terjadi, data output akan membutuhkan lebih dari satu byte untuk setiap sel. Biasanya dua byte akan digunakan. Hal ini menyebabkan penggandaan ukuran file output. Dua byte akan menampung lebih dari 65.500 kombinasi unik; jika lebih banyak kategori diperlukan, maka empat byte per sel sering digunakan

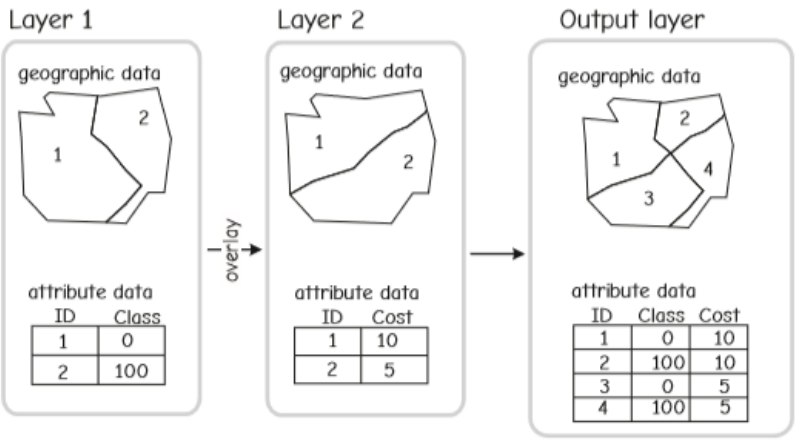


Gambar 9.34: Layer raster overlay harus kompatibel untuk memastikan overlay yang tidak ambigu. Dalam overlay yang digambarkan di sini tidak jelas sel mana dari Layer 2 yang harus digabungkan dengan sel A di Layer 1.

Overlay raster mengharuskan sistem raster input kompatibel. Ini biasanya berarti mereka harus memiliki dimensi sel dan sistem koordinat yang sama, termasuk asal yang sama untuk koordinat x dan y. Jika ukuran sel berbeda, kemungkinan akan ada sel dalam satu layer yang cocok dengan bagian dari beberapa sel di layer input kedua. Hal ini dapat mengakibatkan ambiguitas saat mendefinisikan nilai atribut input. Overlay dapat bekerja jika sel adalah kelipatan bilangan bulat dengan asal yang sama, misalnya, batas layer raster 1 kali 1 meter dapat diatur agar bertepatan dengan layer raster 3 kali 3; namun hal ini jarang terjadi. Data biasanya dikonversi ke layer raster yang kompatibel sebelum overlay. Ini paling sering dilakukan dengan menggunakan sampel ulang. Dalam contoh kita, kita mungkin memilih untuk sampel ulang Layer 2 untuk mencocokkan Layer 1 dalam ukuran dan orientasi sel. Nilai untuk sel di Layer 2 akan digabungkan melalui tetangga terdekat, interpolasi bilinear, konvolusi kubik, atau rumus resampling lainnya untuk membuat layer baru berdasarkan Layer 2 tetapi kompatibel dengan Layer 1.

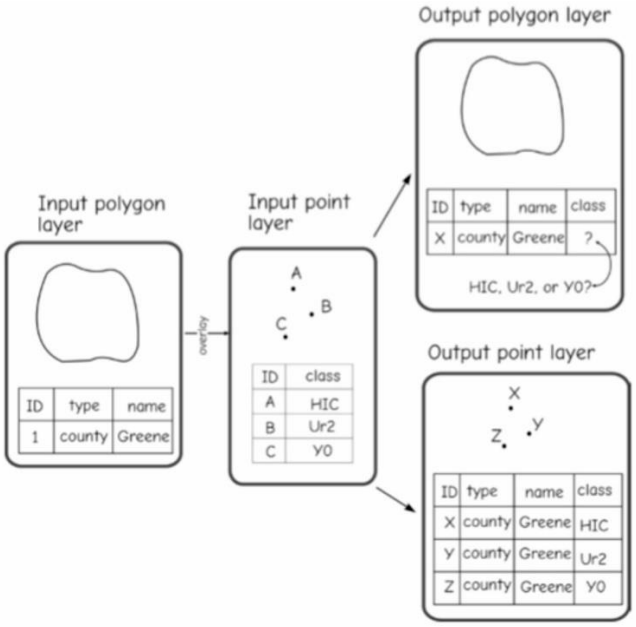
9.6.2 Vektor Overlay

Overlay saat menggunakan model data vektor melibatkan penggabungan geometri titik, garis, dan poligon dan data atribut terkait. Overlay ini menciptakan geometri baru. Overlay melibatkan penggabungan data koordinat dan atribut dari dua layer vektor ke dalam layer data baru. Penggabungan koordinat mungkin memerlukan persimpangan dan pemisahan garis atau area dan pembuatan fitur baru.



Gambar 9.35: Contoh overlay poligon vektor. Dalam contoh ini, data output berisi kombinasi data geografis (koordinat) dan data atribut dari layer data masukan. Fitur baru dapat dibuat dengan hubungan topologi yang berbeda dari yang ditemukan di layer data input.

Gambar diatas mengilustrasikan overlay dua layer data poligon vektor. Overlay ini membutuhkan perpotongan batas poligon untuk membuat poligon baru. Overlay menggabungkan data atribut selama overlay poligon. Layer data di sebelah kiri terdiri dari dua poligon. Hanya ada dua atribut untuk Layer 1, satu adalah pengidentifikasi (ID), dan yang lainnya menentukan nilai untuk variabel bernama kelas. Layer data input kedua, Layer 2, juga berisi dua poligon, dan dua atribut, ID dan biaya. Perhatikan bahwa kedua tabel memiliki atribut dengan nama yang sama, ID. Kedua atribut ID ini memiliki fungsi yang sama di layer datanya masing-masing, tetapi tidak terkait. Nilai 1 untuk atribut ID di Layer 1 tidak ada hubungannya dengan nilai ID 1 di Layer 2. Ini hanya mengidentifikasi kombinasi unik dari atribut di layer output.



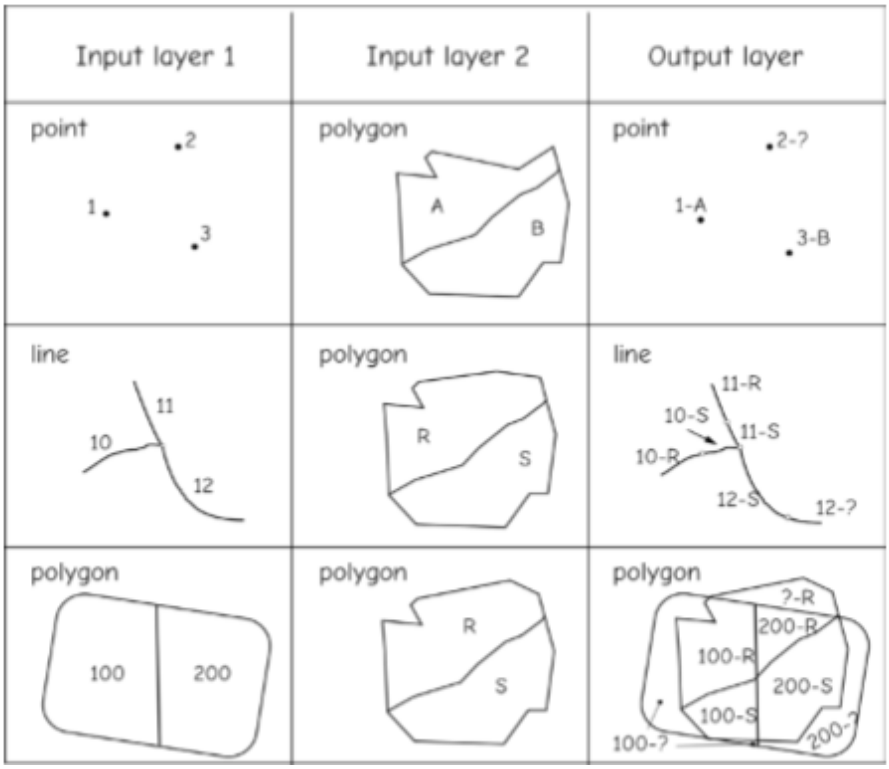
Gambar 9.36 : Output overlay biasanya mengambil dimensi input urutan terendah. Output poligon dari titik dan overlay poligon (kanan, atas) menghasilkan ketidakpastian karena ada beberapa titik yang termasuk dalam setiap poligon. Output titik tidak ambigu (kanan bawah).

Overlay vektor dari dua layer data poligon ini menghasilkan empat poligon baru. Setiap poligon baru berisi informasi atribut dari area yang sesuai di layer data input. Misalnya, perhatikan bahwa poligon di layer data output dengan ID 1 memiliki atribut kelas dengan nilai 0 dan atribut biaya dengan nilai 10. Nilai ini berasal dari nilai yang ditemukan di layer masukan yang sesuai. Batas untuk poligon dengan nilai ID 1 di layer data output adalah gabungan dari batas yang ditemukan di dua layer data masukan. Hal yang sama berlaku untuk tiga poligon lainnya di layer data output. Poligon ini adalah gabungan dari data geografis dan atribut di layer data input.

Topologi output overlay vektor kemungkinan akan berbeda dari layer data input. Fungsi overlay vektor biasanya mengidentifikasi perpotongan garis selama overlay. Garis-garis yang berpotongan dibelah dan sebuah simpul ditempatkan pada titik perpotongan tersebut. Dengan demikian topologi harus dibuat ulang jika diperlukan dalam pemrosesan lebih lanjut.

Semua jenis fitur vektor dapat di-overlay dengan jenis fitur vektor lainnya, meskipun beberapa operasi overlay jarang memberikan informasi yang berguna dan jarang dilakukan. Secara teori, titik dapat dilapiskan pada layer fitur titik, garis, atau poligon, garis pada ketiga jenis, dan poligon pada ketiga jenis. Overlay point-on-point atau point-on-line jarang menghasilkan fitur yang berpotongan, sehingga jarang diterapkan. Overlay line-on-line terkadang diperlukan, misalnya, ketika kita ingin mengidentifikasi persimpangan dua jaringan seperti jalan raya dan rel kereta api, tetapi ini juga jarang terjadi. Overlay yang melibatkan poligon adalah yang paling umum sejauh ini.

Output overlay biasanya mengambil dimensi terendah dari input. Ini berarti overlay titik-dalam-poligon menghasilkan output titik, dan overlay garis-dalam-poligon menghasilkan output garis. Ini menghindari masalah ketika beberapa fitur berdimensi lebih rendah berpotongan dengan fitur berdimensi lebih tinggi.



Gambar 9.40: Contoh overlay vektor. Dalam contoh ini, layer titik, garis, atau poligon digabungkan dalam overlay inklusif. Kombinasi tersebut menghasilkan output layer yang berisi atribut dan data geografis dari input layer. Data output biasanya merupakan urutan minimum input, misalnya, jika data titik digunakan sebagai input, outputnya akan berupa titik. Jika data garis dan garis atau garis dan poligon digunakan, outputnya akan menjadi layer data garis.

Gambar diatas mengilustrasikan contoh di mana beberapa titik dalam satu layer berada dalam satu poligon dalam layer overlay. Data atribut output untuk suatu fitur merupakan kombinasi dari atribut data masukan. Jika poligon adalah output (Gambar kanan, atas) ada ambiguitas mengenai data atribut titik mana yang akan direkam. Setiap fitur titik memiliki nilai untuk atribut bernama kelas. Tidak jelas nilai mana yang harus dicatat dalam poligon output, nilai kelas dari titik A, titik B, atau titik C. Ketika layer titik dikeluarkan (Gambar kanan, bawah), tidak ada ambiguitas. Setiap fitur titik output berisi informasi atribut titik asli, ditambah atribut fitur poligon input.

Salah satu metode untuk membuat output poligon dari overlay titik-dalam-poligon melibatkan perekaman atribut untuk satu titik yang dipilih secara sewenang-wenang dari titik-titik yang termasuk dalam poligon. Ini biasanya tidak memuaskan karena informasi penting mungkin hilang. Alternatifnya melibatkan penambahan kolom ke poligon output untuk mempertahankan beberapa titik per poligon. Namun, ini masih akan menghasilkan beberapa ambiguitas, seperti, apa yang harus menjadi urutan atribut duplikat? Ini juga dapat menambahkan sejumlah besar item yang jarang digunakan, sehingga meningkatkan ukuran file secara tidak efisien. Memaksa output urutan lebih rendah selama overlay menghindari masalah ini, seperti yang ditunjukkan di kanan bawah Gambar.

Perhatikan bahwa jumlah atribut di layer output meningkat setelah setiap overlay. Hal ini diilustrasikan pada Gambar diatas, dengan kombinasi layer titik dan poligon dalam satu overlay. Tabel atribut titik output yang ditunjukkan di bagian kanan bawah gambar berisi empat item. Tabel atribut output ini adalah gabungan dari tabel atribut masukan.

Tabel atribut besar dapat terjadi jika operasi overlay digunakan untuk menggabungkan banyak layer data. Ketika output dari proses overlay pada gilirannya digunakan sebagai input untuk overlay berikutnya, jumlah atribut pada layer output berikutnya biasanya akan meningkat. Seiring bertambahnya jumlah atribut, tabel mungkin menjadi berat, dan kami sering menghapus atribut yang berlebihan.

Gambar diatas mengilustrasikan jenis overlay vektor yang paling umum. Setiap baris pada gambar mewakili operasi overlay dengan input titik, garis, atau poligon. Layer data input diatur di kolom kiri dan tengah dan layer data output di kolom sebelah kanan.

Overlay point-on-line dan line-on-line tidak diilustrasikan, karena meskipun terjadi, mereka sangat jarang terjadi di sebagian besar bidang. Overlay point-on-line jarang terjadi, karena hanya dalam keadaan khusus fitur titik berpotongan dengan fitur garis (misalnya, titik yang mewakili lokasi kecelakaan). Titik tidak memiliki dimensi, dan garis memiliki lebar nol. Jika fitur tidak berpotongan, maka atribut untuk salah satu layer data tidak dicatat dalam output. Demikian pula, overlay line-on-line jarang terjadi, di mana ada garis dari dua jenis fitur yang berbeda, dan perpotongan yang dihasilkan menarik. Contohnya termasuk persimpangan jalan/sungai, misalnya untuk menghitung jumlah penyeberangan, tetapi sekali lagi, relatif jarang.

Daripada menunjukkan tabel atribut lengkap, notasi singkatan dalam label digunakan untuk mewakili kombinasi atribut. Baris bawah mengilustrasikan ini untuk overlay poligon. Label dari setiap layer diwakili, dengan tanda hubung di antaranya, untuk menunjukkan bahwa semua atribut dari fitur input berlabel ditetapkan ke fitur output yang ditunjukkan. Sebuah tanda tanya ditempatkan untuk label ketika output tidak ditentukan, yaitu, ketika tidak dapat diberikan karena tidak jatuh pada fitur dari satu atau yang lain dari layer. Hal ini umum dalam operasi overlay di mana geografi output tidak dibatasi pada area yang tumpang tindih dengan klip atau operasi persimpangan, seperti yang dijelaskan di bagian berikutnya. Nonoverlap ini cukup umum, jadi Anda harus terbiasa dengan bagaimana atribut output ditetapkan ketika salah satu layer tidak ada.

Karakteristik umum dari berbagai jenis overlay terlihat pada Gambar. Overlay point-on-polygon ditampilkan di baris atas, yang menghasilkan fitur titik. Poin mengambil atribut dari poligon bertepatan. Lokasi titik tidak diubah, dan atribut dari fitur poligon biasanya dimasukkan ke dalam fitur titik output yang termasuk dalam poligon.

Perhatikan bahwa titik 2 pada titik dalam contoh poligon diatas tidak termasuk dalam poligon mana pun. Ini menghasilkan nilai yang tidak diketahui atau nol yang ditetapkan untuk atribut poligon dalam fitur titik output, yang ditunjukkan dengan 2-?. Tanda tanya (?) menunjukkan bahwa atribut poligon tidak dicatat. Area, jenis, nama daerah, kode, atau atribut lain yang terkait dengan setiap poligon tidak dapat ditetapkan untuk titik 2.

Overlay garis-di-poligon ditunjukkan di baris tengah Gambar. Jenis overlay ini biasanya menghasilkan layer output garis vektor. Setiap baris dalam layer data output berisi atribut dari kedua layer data jalur masukan asli dan layer atribut poligon bertepatan. Segmen garis dibagi di mana mereka melintasi batas poligon, misalnya, segmen garis berlabel 10 di layer Input 1 dibagi menjadi dua segmen di layer Output. Setiap segmen dari garis ini menunjukkan serangkaian atribut yang berbeda: 10-R dan 10-S. Perhatikan bahwa tidak semua segmen garis dapat berisi satu set lengkap atribut yang diturunkan dari poligon. Segmen garis yang berada di luar semua poligon mungkin kekurangan atribut poligon, seperti segmen di kanan bawah panel output line-on-line. Segmen ini diberi label 12-?. Tanda tanya (?) menunjukkan bahwa atribut poligon tidak dicatat. Segmen garis "luar" ini biasanya berisi nilai null atau flag di tabel atribut untuk item poligon.

Overlay poligon-ke-poligon ditunjukkan di baris bawah Gambar. Dua poligon di layer data input pertama diberi label 100 dan 200. Dua poligon di layer input kedua (panel tengah) diberi label R dan S. Poligon komposit yang dihasilkan di layer output ditunjukkan di sebelah kiri dengan label 100- R, 100-S, 200-R, 200-S, 100-?, 200-?, dan ?-R untuk merepresentasikan kombinasi atribut dari kedua input data layer. Perhatikan bahwa ? menunjukkan atribut tidak tentu, atau tidak diketahui, seperti overlay titik-di-poligon dan garis-di-poligon, karena mereka berada di luar batas layer data input masing-masing.

Overlay yang menyertakan layer poligon adalah yang paling umum. Kami sering tertarik pada kombinasi fitur poligon dengan poligon lain, atau dalam menemukan kebetulan fitur titik atau garis dengan poligon. Kabupaten apa saja yang termasuk tempat pembuangan limbah berbahaya? Lingkungan mana yang dilewati seseorang di E Street? Di mana ada akuifer dangkal di bawah ladang jagung? Semua contoh ini melibatkan overlay fitur area, baik dengan fitur area lain, atau dengan fitur titik atau garis.

9.6.3 Menghasilkan Fitur dengan Overlay

Pilih titik mana pun dari area daratan bumi. Sejumlah besar atribut mungkin menggambarkan titik itu. Mungkin di dalam area yang dimiliki oleh seseorang. Intinya akan ada di suatu negara atau lainnya. Itu mungkin bagian dari dataran banjir. Ini akan dikaitkan dengan jenis tanah tertentu. Representasi titik dalam GIS mungkin menunjukkan bahwa itu adalah bagian dari jalan raya atau sungai. Atau representasi GIS-nya mungkin menunjukkan itu sebagai sumur minyak.

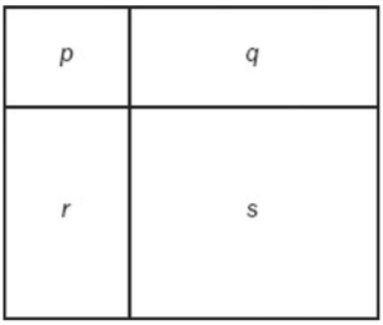
Dalam melakukan analisis GIS, kita sering tertarik pada kombinasi atribut yang berhubungan dengan titik, garis, atau area. Misalnya, kita mungkin tertarik pada area yang memiliki zonasi penggunaan lahan tertentu dan yang juga dijual. Misalkan kita memiliki satu lapisan GIS yang poligonnya menunjukkan zonasi dan lapisan lain yang berbeda yang menunjukkan properti untuk dijual. Dengan proses yang disebut overlay, kita dapat membuat lapisan ketiga di mana kita dapat mengidentifikasi properti yang juga dijual tersebut dengan zonasi yang kita inginkan.

Istilah "overlay" berasal dari proses fisik meletakkan satu map bahan transparan di atas yang lainnya — katakanlah, di atas meja ringan — dan memeriksa efek kombinasi tersebut. Untuk melanjutkan contoh sebelumnya, misalkan Anda ingin membeli beberapa properti untuk memulai bisnis. Zonasinya harus “B1” dan, tentu saja, properti itu harus dijual. Anda dapat mengambil map Mylar yang jelas dari area tersebut dan menggunakan spidol untuk menghitamkan semua zona yang bukan B1. Pada map kedua, Anda mungkin menghitamkan semua properti yang tidak dijual. Jika Anda kemudian meletakkan kedua map di atas meja ringan (dengan asumsi bahwa mereka menutupi area yang sama, berada pada skala yang sama, didasarkan pada datum geografis yang sama, memiliki proyeksi yang sama, dan seterusnya—bukan asumsi sepele seperti yang Anda ketahui sekarang), cahaya akan menyinari area yang mungkin cocok untuk bisnis yang Anda tuju. Dengan perangkat lunak GIS, kita dapat mensimulasikan aktivitas ini, dengan efisiensi yang jauh lebih besar dan mengumpulkan lebih banyak informasi dalam prosesnya. Anda menemukan inti dari overlay, mengerjakan masalah Wildcat Boat, ketika Anda menemukan kombinasi tanah dan penggunaan lahan yang sesuai.

Mari kita lihat dulu ide untuk meng-overlay kelas fitur poligon dengan kelas fitur poligon lainnya. Kita mendapatkan dua jenis hasil: (geo)grafik dan tabular.

Gambar dan tabel di bawah menggambarkan kelas fitur bernama A, terdiri dari empat poligon. Pada kelas fitur A terdapat atribut bernama Zone, yang memiliki nilai p, q, r, dan s, seperti terlihat pada diagram dan tabel. (Pada tabel ini dan tabel berikutnya, nilai kolom yang tidak terkait dengan pembahasan telah dihilangkan. Ini termasuk nomor pengenal fitur, yang akan menjadi unik. Juga, tidak ada nilai yang diberikan untuk Shape_Length dan Shape_Area, karena ini tidak penting untuk diskusi kita.)

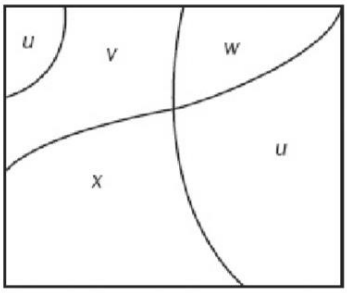
Shape_area	Shape_length	Zone
		p
		q
		r
		s



Gambar 9.41 Kelas fitur "A" dengan atribut ZONE

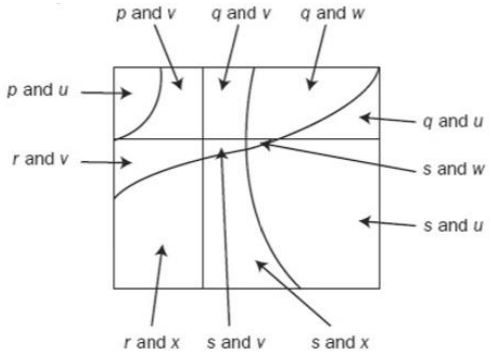
Gambar dan tabel di bawah ini menggambarkan kelas fitur B, dari lima poligon. Kelas fitur B memiliki atribut bernama “Jurisdiction.” Nilai Jurisdiction adalah u, v, w, dan x. Perhatikan bahwa dua poligon yang berbeda dicirikan oleh u.

Shape_area	Shape_length	Jurisdiction
		u
		v
		w
		x
		u



Gambar 9.42 Kelas fitur "B" dengan atribut JURISDICTION

Misalkan kelas fitur A dan B di-overlay untuk menghasilkan kelas fitur poligon C. Kemudian C akan terdiri dari sepuluh poligon, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Masing-masing poligon tersebut akan homogen dalam pasangan nilai atribut, seperti yang diilustrasikan. Tabel atribut, tabel dari C, tentu saja, terdiri dari 10 catatan. Itu akan berisi atribut, Zone dan Jurisdiction, dari masing-masing kelas fitur konstituen.



Gambar 9.43 Overlay A dan B

Shape_area	Shape_length	Zone	Jurisdiction
		p	u
		p	v
		q	v
		q	w
		q	u
		r	v
		r	x
		s	u
		s	v
		s	w
		s	x

Ini adalah esensi mendasar dari overlay poligon. Anda umumnya akan mendapatkan lebih banyak poligon dan lebih banyak atribut daripada di salah satu kelas fitur input. Anda dapat mengidentifikasi setiap poligon dengan atribut di setiap input kelas fitur.

9.6.4 Overlay dengan Kelas Fitur Garis dan Titik

Saat Anda melakukan overlay, salah satu dari dua kelas fitur sering kali bertipe poligon. Yang lain mungkin titik, garis, atau, seperti yang Anda lihat di atas, poligon. Apa yang dimaksud dengan overlay kelas fitur poligon dan kelas fitur titik? Pada dasarnya, perubahanya hanya pada output tabel (walaupun beberapa poin mungkin dihilangkan jika berada di luar cakupan semua poligon, tergantung pada perintah yang Anda gunakan).

9.6.5 Mengoverlay Fitur Titik

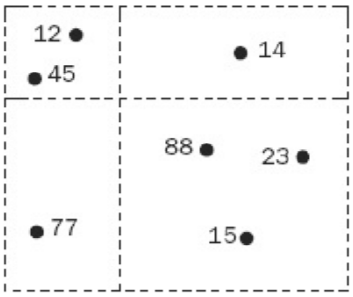
Misalkan beberapa fitur titik adalah meteran parkir, yang masing-masing memiliki nomor. Lihat gambar di bawah. Di tabel atribut, bidang Meter_number mencatat nomor ini. Lihat tabel di bawah. Juga asumsikan bahwa kelas fitur poligon "A" yang Anda periksa sebelumnya, menggambarkan zona kota, dan ini diperlukan untuk mengetahui meteran parkir mana yang jatuh ke zona mana, sehingga pemasukan setiap meter akan masuk ke anggaran yang benar.

Meter_number
12
45
77
88
23
15
14

Gambar 9.35Titik yang menunjukkan meteran parkir

Sekarang jika kelas fitur titik (lihat gambar di atas) di-overlay pada kelas fitur poligon A (lihat gambar sebelumnya), hasil grafis dari kelas fitur titik baru akan sama dengan gambar di atas. Namun, tabel atribut dari kelas fitur titik baru akan terlihat seperti di bawah. Gambar di bawah ini menunjukkan seperti halnya dengan garis putus-putus, lokasi geografis "A" dari gambar sebelumnya.

Meter_number	Zone
12	p
45	p
77	r
88	s
23	s
15	s



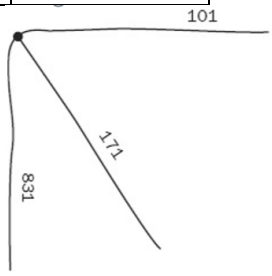
Gambar 9.36 Titik terlapisi kelas fitur “A”

9.6.6 Mengoverlay Fitur Garis

Efek serupa terjadi jika garis dilapisi oleh poligon. Catatan yang terkait dengan garis dalam tabel output memperoleh atribut poligon di mana garis berada. Kelas fitur garis keluaran biasanya akan terdiri dari lebih banyak garis dibanding input karena ketika garis dari input melintasi batas poligon itu dipotong, akan membentuk garis di kedua sisi.

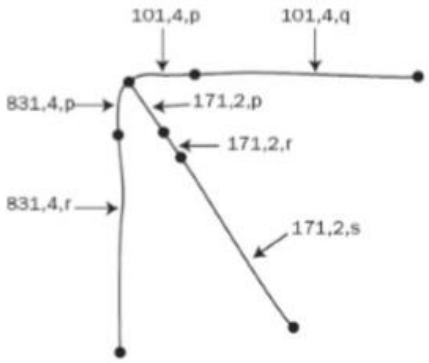
Misalkan kita memiliki tiga jalan di area kelas fitur “A.” Lihat gambar dan tabel di bawah. Untuk tujuan pemeliharaan, kami ingin mengetahui di zona mana setiap ruas jalan berada.

Shape_length	Highway_number	Lanes
	831	4
	101	4
	171	2



Gambar 9.37 Garis yang menunjukkan jalan

Overlay akan menghasilkan kelas fitur garis dengan tujuh garis seperti yang diilustrasikan pada gambar dan tabel di bawah. Shape_lengths merupakan panjang dari garis yang baru dibuat.



Gambar 9.38 Garis dilapisi dengan kelas fitur "A"

Shape_length	Highway_number	Lanes	Zone
	831	4	r
	831	4	p
	171	2	p
	171	2	r
	171	2	s
	101	4	p
	101	4	q

9.6.7 Data Geografis dan Atribut: Seleksi, Input, dan Pengeditan

Anda dapat mengeksplorasi beberapa ide tentang mengumpulkan dan memilih data, termasuk menggunakan Sistem Pemosisian Global (GPS). Anda juga dapat mendigitalkan dan mengedit data map, mengubah data spasial, dan memeriksa penggabungan data atribut dengan data geografis.

"Sampah masuk, sampah keluar."

Sebuah nasihat yang sering dikutip, tetapi jarang diindahkan, di dunia komputasi. Di bagian Langkah-demi-Langkah dari pembahasan ini, Anda akan mendapatkan pengalaman bekerja dengan sebagian besar kumpulan data kecil. Anda akan memeriksa "seluk beluk" dari digitalisasi dan manipulasi data. Namun, sebagian besar proyek GIS menangani data dalam jumlah besar. Terkadang kumpulan data ini ditemukan. Terkadang data dikumpulkan dari lapangan. Berikut ini adalah saran untuk mendapatkan data yang tepat untuk produk yang mungkin dihasilkan oleh proyek GIS kelas menengah hingga besar.

9.6.8 Kekuatiran tentang Cara Menemukan dan Mengumpulkan Data

Dataset membentuk dasar GIS. Sistem ini kadang-kadang disebut sebagai "data driven" untuk menekankan pentingnya data yang memadai yang digunakan dalam operasi mereka. Produk GIS adalah kontributor terpenting bagi kegunaannya; data adalah bahan utama dari produk tersebut. Pesan tunggal yang ditekankan oleh bagian ini adalah bahwa setiap penentuan tentang data apa yang dibutuhkan, dan karakteristik apa yang harus ada pada data tersebut, muncul setelah melihat dengan sangat hati-hati pada jenis produk informasi apa yang

diperlukan untuk pengambilan keputusan tertentu. Produk, diharapkan, dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan yang dibahas dalam pembahasan sebelumnya dan persyaratan untuk analisis yang akan kita bahas di pembahasan selanjutnya.

Menentukan dataset apa yang dibutuhkan bukanlah proses yang mudah. Hal ini membutuhkan upaya para ahli yang terkonsentrasi, mulai dari pengambil keputusan yang akan menggunakan informasi yang dihasilkan hingga pada para ilmuwan yang mengumpulkan dan menganalisis data. Urutan ideal untuk mencocokkan data dengan kebutuhan adalah dari spesifikasi produk informasi kembali ke pengumpulan data — yaitu, melalui arah berlawanan dari di mana proses menghasilkan informasi terjadi.

Fakta bahwa banyak data yang sudah terkumpul akan mempengaruhi tidak hanya proses mengubah data tersebut menjadi informasi tetapi juga jenis informasi yang dihasilkan. Namun, untuk memungkinkan fakta bahwa beberapa data yang tidak tepat tersedia untuk menentukan keluaran GIS mengingatkan saya pada cerita tentang pria yang, suatu malam, kehilangan cincin di sisi utara jalan tetapi mencarinya di selatan samping karena "cahayanya lebih baik."

9.6.9 Mencari Data di Internet

Fakta bahwa kumpulan data spasial yang sesuai sulit ditemukan, dan bahwa hambatan utama untuk berbagi kumpulan data hanyalah dengan mengetahui keberadaannya, pemerintah AS melakukan dua upaya yang berbeda namun berhubungan pada tahun 1990-an: Komite Data Geografis Federal (FGDC/Federal Geographic Data Committee), yang didirikan dengan Perintah Eksekutif (12906) dari Presiden, dan Infrastruktur Data Spasial Nasional (NSDI/National Spatial Data Infrastructure).

FGDC (www.fgdc.gov) adalah komite antarlembaga pemerintah yang terdiri dari perwakilan dari Kantor Eksekutif Presiden, tingkat kabinet, dan badan-badan independen. FGDC sedang mengembangkan NSDI (www.fgdc.gov/nsdi). Yang bekerja sama dalam upaya itu adalah pemerintah negara bagian, lokal, dan suku, civitas akademika, dan sektor swasta. NSDI mencakup kebijakan, standar, dan prosedur bagi organisasi untuk secara kooperatif memproduksi dan berbagi data geografis. FGDC juga mensponsori National Geospatial Data Clearinghouse untuk menyediakan mekanisme pencarian data geografis.

Pada saat yang sama, berbagai badan pemerintah (federal, negara bagian, regional, dan lokal) sedang mengembangkan kumpulan data spasial, yang mungkin dapat diakses atau tidak, dan yang mungkin tidak gratis untuk public atau tidak. Misalnya, Survei Geologi A.S. (www.usgs.gov) telah mengumpulkan kumpulan data yang besar dan beragam, tidak hanya berurusan dengan geologi, tetapi juga elevasi, hidrografi, tutupan lahan, dan tema lainnya. USGS menghasilkan segi empat Digital Raster Graphic (DRG) yang Anda lihat di pembahasan sebelumnya. Selain itu, Biro Sensus mengembangkan kumpulan data spasial yang sangat besar.

Kumpulan data komersial juga tersedia — terkadang dengan harga yang cukup tinggi, terkadang tidak mahal, dan terkadang gratis. Situs www.arcgis.com yang disponsori oleh ESRI adalah tempat untuk mencari dataset. Menemukan data yang Anda butuhkan di Internet adalah, yang pertama, menyebarkan jaring yang luas, dan, kedua, menelusuri untuk melihat apakah Anda dapat menemukan data yang memenuhi kebutuhan Anda. Jika Anda mengetik

"Sistem Informasi Geografis" ke dalam mesin pencari, Anda akan memeperoleh jutaan hasil pencarian.

9.6.10 Langkah-langkah dalam Mengembangkan Database

Setelah produk data ditentukan untuk area spasial, beberapa pertanyaan harus diajukan mengenai data yang Anda cari untuk memastikan apakah Anda menemukan data yang sesuai dengan kebutuhan Anda yaitu

1. Tentukan jenis data yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk
2. Tentukan karakteristik set data tersebut (akurasi, ketepatan waktu, cakupan, dan sebagainya) yang diminta oleh produk; tentukan prioritas.
3. Membuat beberapa studi pendahuluan untuk menyatakan bahwa data dan karakteristik yang ditentukan akan menghasilkan informasi yang diinginkan.
4. Mulailah upaya akuisisi data — telusuri data yang telah dikumpulkan yang memenuhi spesifikasi Anda, atau mulai upaya pengumpulan data subarea.
5. Masukkan data yang diperoleh ke dalam bentuk yang tepat (format ulang, atau atur sandi) untuk dimasukkan dalam Database GIS.
6. Periksa keakuratan setiap langkah proses pengumpulan; juga bandingkan bentuk pertama dari data dengan bentuk di GIS.
7. Ulangi Langkah 4, 5, dan 6 untuk mengumpulkan data yang lengkap untuk Database.
8. Gunakan teknik untuk memantau dan memperbarui Database.

Sekarang kita melihat langkah-langkah ini satu per satu.

1. **Tentukan jenis data apa yang dibutuhkan untuk produk informasi.**

Ini mengasumsikan bahwa Anda telah menentukan kebutuhan aparat pembuat keputusan dan, lebih lanjut, bahwa Anda dapat mengidentifikasi jenis informasi yang akan memenuhi kebutuhan tersebut.

Komponen terpenting dalam langkah ini adalah melibatkan orang-orang yang memahami: (a) informasi yang dibutuhkan (dan bagaimana informasi itu akhirnya digunakan), (b) karakteristik data yang mungkin digunakan untuk menghasilkan informasi, dan (c) manipulasi data yang diperlukan untuk menghasilkan informasi.

Pada tahap awal ini, adalah bijaksana untuk mempertimbangkan cara-cara alternatif dan inovatif untuk mendapatkan informasi yang sama. Sebagai contoh, jika informasi yang dibutuhkan adalah delineasi area dengan potensi erosi tanah tinggi, maka penghitungan potensi kehilangan tanah dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dan data kehilangan tanah universal, termasuk curah hujan, erodibilitas tanah, panjang lereng dan gradien, dan tutupan vegetasi. Namun demikian, data tersebut dapat dihasilkan dengan menginterpretasikan foto udara untuk kondisi erosi yang ada. Banyak proyek yang mendapat masalah pada tahap ini mungkin karena komunikasi dengan kelompok analisis dan pengambilan keputusan berhenti setelah kontak awal. Masalah terus berubah baik dalam kepentingan maupun jenisnya. Jadi, agar paling responsif, sektor pendukung data dari proses pengambilan keputusan harus berakar bukan di area pengumpulan data, melainkan di area analisis dan pengambilan keputusan.

2. **Setelah jenis data dasar yang diperlukan telah diidentifikasi, pemikiran harus lebih difokuskan pada karakteristik data yang akan diperoleh.**

Dalam menentukan karakteristik data yang dibutuhkan, beberapa pertanyaan mendasar harus diajukan:

Area geografis apa yang terlibat? Pengidentifikasi geografis apa yang diperlukan untuk penggunaan data? Dengan ketelitian berapakah koordinat harus diketahui? Apakah nilai data "kontinu" (seperti ketinggian di atas permukaan laut) atau "terpisah" (klasifikasi tutupan lahan)? Seberapa sering nilai data berubah? Apa yang menyebabkan perubahan ini? Apakah tipe data paling dasar digunakan, atau dapatkah data lain diturunkan dari sumber yang lebih mendasar? Jika yang terakhir, apa keuntungan dan biaya dalam menggunakan informasi paling dasar yang tersedia? Tingkat sedetail apa yang diperlukan? Ketika tingkat detail yang diinginkan "dikalikan" dengan area yang terlibat, seberapa besar kumpulan data tersebut? Seberapa peka terhadap kesalahan dalam data proses yang digunakan untuk mendapatkan produk informasi dari data?

3. **Lakukan beberapa studi pendahuluan untuk menentukan apakah data dan karakteristik yang ditentukan akan menghasilkan informasi yang diinginkan.**

Bagaimana tugas ini dilakukan sangat bergantung pada apa yang tersedia. Jika GIS tersedia dan kumpulan data baru untuk mendukung produk baru ditambahkan, jalan terbaik mungkin adalah menghasilkan beberapa subarea data yang khas untuk mencoba proses tersebut. Jika GIS tidak tersedia tetapi dipasang untuk menghasilkan produk, masalah pengujian awal hubungan data-produk harus melalui pendekatan yang berbeda. Mungkin analisis rencana Anda dapat dikontrakkan ke perusahaan konsultan untuk diperiksa. Bagaimanapun hal itu dilakukan, seseorang selain pembuat teknik untuk pengembangan informasi data harus secara independen memeriksa arah tindakan yang diproyeksikan.

4. **Mulailah upaya akuisisi data dengan proyek percobaan**

Sejauh ini, saya telah menjelaskan proses yang agak ideal untuk pembentukan sebagian Database GIS. Saya pikir pendekatan yang diidealkan layak untuk dipegang. Terlalu seringnya keberadaan beberapa kumpulan data yang dikumpulkan tidak hanya menentukan proses yang digunakan untuk memanipulasinya, tetapi juga jenis produk yang dihasilkan. Seringkali ternyata ketika biaya konversi dari data yang sudah dikumpulkan dihitung, tingkat kesalahan ditemukan, dan kurangnya kesesuaian data untuk tugas yang ada, lebih banyak uang dan waktu akan dihabiskan dibanding jika upaya pengumpulan data dimulai dengan baik. Namun, tidak masuk akal untuk tidak melakukan pemeriksaan terhadap sumber data yang ada, setelah Anda tahu apa yang Anda inginkan, untuk melihat apakah (mengingat jutaan yang dihabiskan untuk pengumpulan data di negara ini) ada beberapa kumpulan data yang akan memenuhi kebutuhan Anda.

a. Pencarian untuk data yang relevan mungkin tidak mudah. Meskipun ada banyak sekali situs web yang memungkinkan pengunduhan (berbayar atau gratis), pertanyaan tentang kesesuaian dan kualitas akan terus muncul. Ini mungkin jenis usaha yang membuat frustrasi di mana seseorang tidak pernah benar-benar tahu kapan harus menyerah; berapa lama Anda harus terus mencari sebelum Anda memilih rute lain? Masalah yang umum terjadi adalah sangat sedikit orang yang tampaknya memiliki pemahaman mendalam yang diperlukan untuk memanipulasi data menjadi informasi

di area tertentu dan pandangan keseluruhan tentang cara mengumpulkan data yang mungkin relevan dengan proses pengambilan keputusan.

Oleh karena itu, pencarian yang sebenarnya harus dilakukan, dan harus dilihat secara luas, tidak menyempitkan kemungkinan sumber data. Mewawancarai individu di berbagai agensi dan perusahaan mungkin sama menguntungkannya dengan pencarian melalui dokumen di web; wawancara dapat menghasilkan lebih banyak informasi terkini tentang sumber data atau upaya pengumpulan data.

Tidak ada kelangkaan data, spasial atau sebaliknya, tetapi ada tiga masalah utama dengan data yang ada:

1. File data itu sendiri didistribusikan secara spasial, di sana sini, di kantor dan pusat komputasi, di laci meja dan lemari arsip. Mungkin tugas pertama dalam mengembangkan data untuk wilayah geografis tertentu harus berupa daftar yang mencakup sumber data, karakteristik, dan pemilik.
2. Kumpulan data tidak dalam format umum. Memang, jenis data yang berbeda harus disajikan dalam bentuk yang berbeda karena karakteristik dan kegunaannya yang melekat, tetapi variabilitasnya jauh melebihi persyaratan untuk format yang berbeda.
3. Kumpulan data yang sudah ada semakin usang dan kurang akurat seiring hari.

Keakuratan data akan menurun perlahan seiring waktu. Sebuah metode untuk menilai kebenaran data setelah jangka waktu yang lama dapat diambil dari konsep fisika yaitu waktu paruh radioaktif. Suatu periode, diukur dalam satuan waktu (dari sepersejuta detik hingga tahun hingga ribuan tahun) dan berbeda untuk setiap zat radioaktif, adalah lamanya waktu yang diperlukan untuk setengah massa zat untuk meluruh menjadi sesuatu yang lain. Dalam bentuk umum, ide ini dapat memiliki paralel dengan "kebenaran sekumpulan data" sebagai variabel, bukan massa materi. Kebenaran data yang terdistribusi secara spasial dari jenis tertentu, katakanlah, penggunaan lahan, meluruh pada tingkat yang berbeda tergantung, seperti yang Anda bayangkan, pada lokasinya. Tingkat pembusukan yang lebih tinggi diprediksikan di lokasi yang berdekatan dengan daerah perkotaan dibanding yang jauh. Bagaimanapun, usia data yang digunakan adalah salah satu karakteristik terpenting.

Dengan asumsi satu set data yang telah ditemukan yang mendekati spesifikasi, data tersebut harus dianalisis secara cermat sesuai dengan karakteristik:

- Dapatkah kumpulan data digunakan secara langsung atau harus dimanipulasi sebelum dapat digunakan dalam analisis?
- Apakah data yang paling spesifik dan rinci tersedia? Ketika akurasi sangat penting, dan Anda harus menggunakan map digitalisasi, dapatkah Anda menemukan versi yang dicetak pada Mylar yang tidak menyusut dan tidak meregang?
- Apakah resolusi data cukup untuk memenuhi kebutuhan informasi?
- Apakah data dipetakan pada skala yang sesuai untuk resolusi yang dibutuhkan?
- Dalam sistem koordinat geografis apa data dicatat? Komplikasi apa yang akan terjadi dalam mengonversi data jika konversi diperlukan? Akankah akurasi atau resolusi hilang dalam prosesnya?
- Proses apa yang digunakan untuk mengumpulkan data? Apakah pernyataan tentang ketepatan dan keakuratan data menyertai kumpulan data? Apakah pembuat kumpulan data menganggap serius gagasan metadata?

- Apakah datanya seragam? Apakah media tempat data direkam juga seragam dan bebas dari jenis distorsi yang ditemukan pada beberapa foto udara yang tidak direktifikasi?
- Apakah dataset benar-benar tersedia? Siapa pemiliknya? Apakah mereka berada dalam domain publik? Dapatkah data "asli" diperoleh, atau hanya salinannya; informasi apa yang hilang dalam proses penyalinan?
- Proses apa yang digunakan untuk mengumpulkan data? Apakah prosesnya mematuhi ketentuan kerahasiaan? Apakah prosesnya dirahasiakan oleh militer?
- Berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan dataset? Berapa lama waktu yang diperlukan untuk memformat ulang atau menyandikannya?
- Apakah pembaruan informasi akan tersedia dari sumber yang sama? Jika tidak, apakah pembaruan baru, mungkin dari proses yang berbeda, akan menyatu dengan data yang sudah ada?
- Jika semua pertimbangan dihitung, berapa harga datanya?

b. Jika Anda tidak dapat menemukan kumpulan data yang memenuhi spesifikasi Anda—atau bahkan jika bisa pun—Anda dapat memulai upaya pengumpulan data. Dalam banyak hal, jika kumpulan data yang kira-kira memenuhi spesifikasi Anda tersedia, masalah apakah akan menggunakannya atau mengumpulkannya sendiri sama seperti apakah akan membeli mobil bekas atau baru. Ada keuntungan, kerugian, dan ketidakpastian yang terkait dengan kedua tindakan tsb. Keputusan itu bisa menjadi konflik penghindaran-penghindaran klasik yang dipelajari mahasiswa tahun kedua dalam kursus psikologi: semakin Anda melihat data orang lain untuk keperluan Anda, semakin Anda ingin mengumpulkan data Anda sendiri; semakin Anda memeriksa apa yang harus Anda lalui untuk mengumpulkan data Anda, semakin tampak menarik kumpulan data yang ada.

Jika Anda memutuskan untuk mengumpulkan data baru, banyak kekhawatiran tentang karakteristik, tetapi pertanyaannya berubah, dari "Apakah data ini memiliki ciri-ciri seperti yang saya inginkan?" menjadi "Bagaimana cara membuat menyusun proses untuk menghasilkan data dengan karakteristik seperti yang saya inginkan?"

Mungkin saran terbaik bagi siapa pun yang merencanakan upaya pengumpulan data yang besar adalah memulai secara perlahan… dan hati-hati. Faktanya, dengan semua operasi yang melibatkan program penanganan data, seseorang mungkin harus menggunakan "aturan perencanaan 10 persen." Aturan ini menyatakan bahwa jika x dolar akan dibelanjakan selama suatu periode waktu, maka 10 persen dari x dolar harus dibelanjakan selama periode sebelumnya pada subjek yang sama. Misalnya, jika 1 juta dolar akan dihabiskan untuk pengembangan data GIS dalam periode satu tahun, Rp. 1,4 miliar seharusnya telah dikeluarkan pada bulan-bulan sebelumnya untuk perencanaan, analisis, dan pengujian. Dan, dengan perluasan, Rp. 140 juta seharusnya dibelanjakan sebelum itu untuk menentukan bagaimana membelanjakan Rp. 1, 4 miliar. Aturan perencanaan 10 persen menyarankan, kemudian, bahwa jumlah data yang kecil tapi substansial dan representatif dapat dikumpulkan, dikodekan, dan divalidasi sebelum upaya pengumpulan data utama dilakukan.

Proses pengumpulan data harus direncanakan dan dilaksanakan dengan cermat. Kemungkinan menghabiskan banyak uang dan berakhir dengan tidak ada data yang sangat berguna itu ada. Di antara poin yang perlu dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

(1) Beberapa pekerjaan mungkin dapat dikontrakkan pada orang lain. Tentu saja semua kesepahaman dengan perusahaan kontraktor harus ditulis. Yang penting adalah bahwa pemahaman tersebut benar-benar dipahami oleh kedua belah pihak. (Karena tidak sulit untuk mengacaukan kesepakatannya. (Contoh terkenal: Pengorbit Iklim Mars menabrak planet alih-alih berlayar di sekitarnya karena NASA dan seorang kontraktor salah berkomunikasi — menggunakan unit yang berbeda (bahasa Inggris, bukan metrik).)
(2) Tidak banyak perusahaan yang melakukan pekerjaan ortofoto ketinggian menengah dan tinggi dengan baik. Mereka yang sudah ada mungkin telah dijadwalkan berbulan-bulan atau bertahun-tahun sebelumnya.
(3) Jadwal kaku untuk pengumpulan data mengenai lingkungan tidak begitu berguna. Awan terbentuk, pepohonan tumbuh daun, pesawat rusak, tanah menjadi basah. Sehingga jadwal harus didasarkan pada probabilitas.

c. Pertimbangkan kumpulan data yang dikumpulkan secara berkelanjutan oleh satelit atau pesawat terbang. Kumpulan data yang menampilkan fitur dalam warna pada resolusi dalam urutan meter kini tersedia—tersedia, tetapi tidak murah. Kumpulan data ini terutama menggambarkan tutupan lahan (dari situ, dalam banyak kasus, penggunaan lahan dapat ditentukan). Penggunaan data yang dikumpulkan dengan cara ini memiliki sejumlah kelebihan. Diantaranya: (a) data dapat diperoleh dalam bentuk digital, (b) pemutakhiran dilakukan secara berkala, dan (c) tersedia perangkat lunak komputer yang canggih untuk memanipulasi data tersebut.

5. Olah data yang diperoleh menjadi bentuk yang tepat untuk dimasukkan ke dalam Database GIS.

Pada dasarnya, proses penyandian data berarti mengubahnya dari bentuk dasar pengumpulannya (atau dapat juga diperoleh dari data awal) ke dalam bentuk simbolik atau grafik yang diperlukan oleh GIS. Prosesnya tergantung pada jenis data, ketelitian yang diperlukan, peralatan yang tersedia, skema yang digunakan untuk merepresentasikan data dalam memori komputer (paradigma penyimpanan), dan faktor-faktor lain.

6. Periksa keakuratan setiap langkah dari proses pengumpulan atau dari proses pemformatan ulang; juga memeriksa bentuk pertama dari data terhadap bentuk di GIS.

Dua elemen yang harus terus dipantau: (a) proses pengumpulan dan pemformatan ulang data, dan (b) kualitas kumpulan data itu sendiri. Mungkin hal terpenting yang perlu diketahui tentang proses "pemeriksaan" ini adalah bahwa hal itu harus dilakukan oleh orang lain selain orang atau kelompok yang melakukan pengumpulan data.

Pemeriksaan independen semacam itu memiliki banyak manfaat: memberikan pandangan yang lebih objektif oleh mereka yang melakukan pemeriksaan; memastikan bahwa aktivitas pemeriksaan adalah proyek tersendiri dan bukan hanya tambahan untuk upaya pengumpulan data; dan mengurangi gangguan untuk menggunakan teknik yang sama untuk memeriksa data seperti yang digunakan untuk mengembangkan data.

Proses pemeriksaan harus lebih dari sekadar memastikan dan melaporkan tingkat kesalahan. Pemahaman tentang mengapa kesalahan dapat terjadi harus dikembangkan. Jika nilai yang dikodekan untuk evaluasi pada titik tertentu adalah 1023 kaki dan pemeriksa dengan altimeter

yang dipasang di tempat menemukan 999 kaki, apa yang terjadi? Apa masalah yang terjadi dalam mengukur ketinggian? Apakah koordinat posisinya mati? Apakah ada kesalahan sistematis atau acak dalam proses pengkodean atau kesalahan di alat?

Sangat penting untuk memahami bahwa semua Database besar memiliki kesalahan. Jika suatu variabel dalam Database adalah besaran kontinu, seperti elevasi, akan ada nilai di luar standar akurasi. Jika basisnya adalah salah satu klasifikasi, seperti aktivitas penggunaan lahan, beberapa penggunaan akan salah diklasifikasikan. Jika pangkalan direferensikan secara geografis, akan ada ketidaksesuaian lokasi sebenarnya antara titik-titik permukaan bumi dengan tempat di mana sistem menempatkannya. Tujuan dari validasi data adalah untuk mengembangkan pemahaman tentang seberapa besar tingkat kesalahan ini dan, jika terlalu besar, dapat diambil langkah-langkah untuk menguranginya.

7. **Ulangi Langkah 4, 5, dan 6 untuk set data lengkap untuk basis.**

Sadarilah, bagaimanapun, bahwa Database akan menjadi entitas yang tumbuh dan berkembang, menyediakan informasi yang berguna bagi pembuat keputusan untuk tahun-tahun mendatang. Langkah-langkah ini hanyalah yang pertama. Pada saat data percontohan telah dikumpulkan atau diperoleh dengan memuaskan, dikodekan, dan divalidasi, pengembang Database harus memiliki pemahaman yang kuat mengenai masalah, biaya, dan teknik yang terkait. Pemikiran serius harus dilakukan mengenai perbedaan antara proyek percontohan dan upaya pengumpulan data utama.

Seharusnya tidak ada jeda dalam pengujian data saat masuk dan penyandian. Dan jika Anda benar-benar ingin mempertaruhkan teknik pengumpulan data, kumpulkan kembali beberapa data dari area percontohan dan bandingkan dengan yang dikumpulkan sebelumnya. Hasil dari itu mungkin sangat instruktif atau mengecewakan.

Salah satu kerugian terburuk yang saat ini dapat terjadi pada personel kunci, sekarang jauh lebih berharga daripada saat pengumpulan data percontohan dimulai. Pentingnya mereka bagi keberhasilan sistem harus diakui dan diberi kompensasi yang sesuai, jika memungkinkan.

8. **Gunakan teknik untuk memantau dan memperbarui Database.**

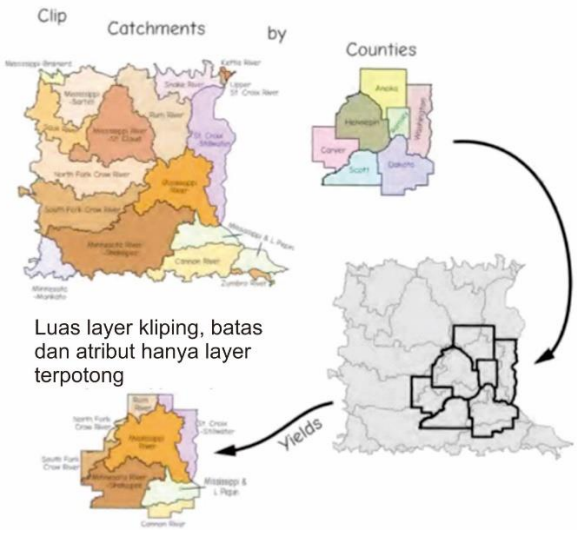
Bahkan saat upaya pengumpulan Database utama sedang berlangsung, dunia akan berubah, dan masalah baru akan muncul; pemutakhiran harus menjadi aktivitas konstan untuk menjaga Database agar tetap mutakhir.

9.6.11 Klip, Intersect, dan Union: Kasus Khusus Pada Overlay

Ada tiga cara umum operasi overlay diterapkan: sebagai klip persimpangan, atau gabungan.

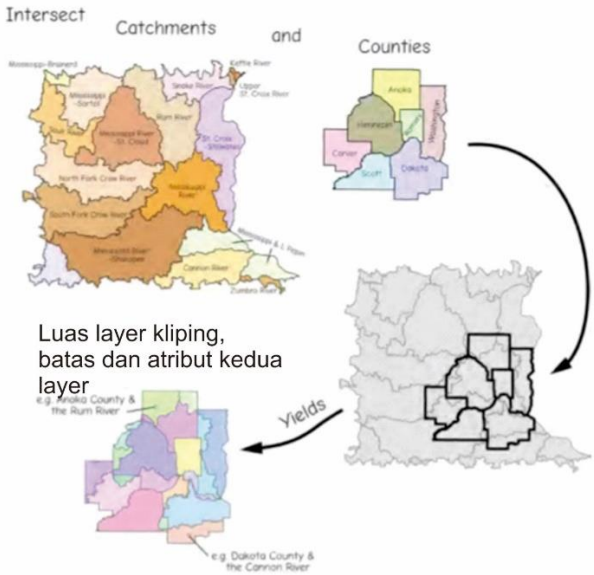
Kombinasi layer-ke-layer dasar adalah sama untuk ketiganya. Mereka berbeda dalam jangkauan geografis dimana data vektor direkam, dan bagaimana data dari layer atribut digabungkan. Intersection dan union diturunkan dari operasi teori himpunan umum. Operasi persimpangan dapat dianggap dalam beberapa hal sebagai AND spasial, sedangkan operasi gabungan terkait dengan OR spasial. Operasi klip dapat dianggap sebagai kombinasi dari persimpangan dan eliminasi. Ketiganya umum dan didukung dalam beberapa cara sebagai fungsi mandiri oleh sebagian besar paket perangkat lunak GIS.

Sebuah klip dapat dianggap sebagai overlay “cookiecutter”. Layer poligon pembatas digunakan untuk menentukan area yang fiturnya akan dihasilkan. Layer poligon pembatas ini mendefinisikan wilayah kliping. Data titik, garis, atau poligon di layer kedua "terpotong" dengan layer pembatas. Di sebagian besar versi fungsi klip, atribut untuk layer kliping tidak disertakan dalam layer data output.



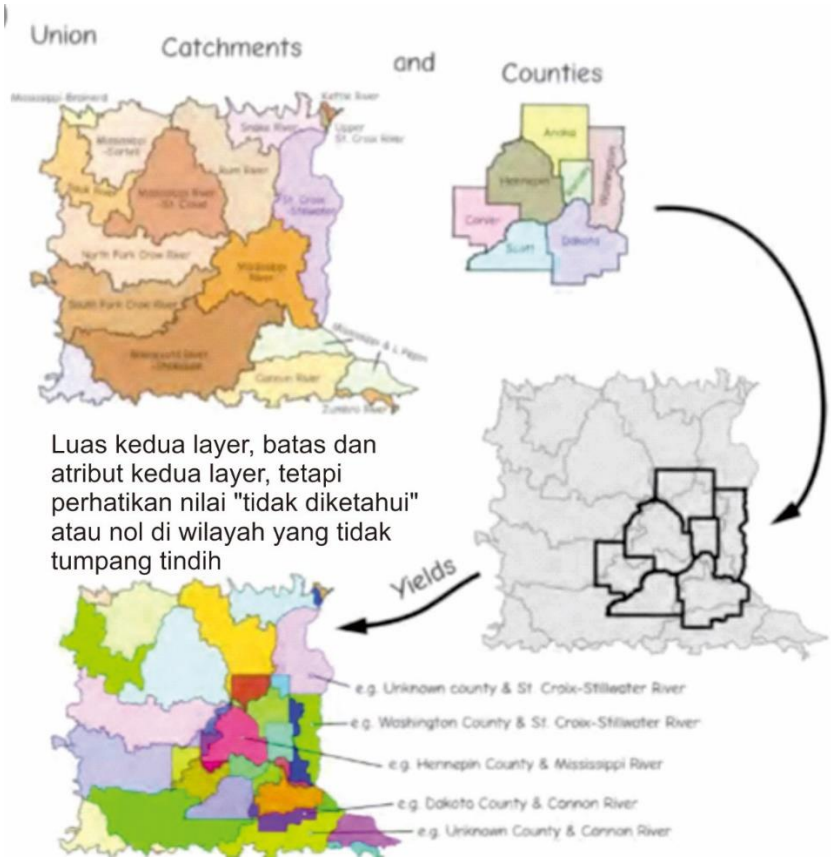
Gambar 9.39: Klip adalah variasi umum dari operasi overlay. Klip menyimpan informasi hanya dari layer data yang terpotong (atau target) dan hanya untuk area kliping (atau layer pembatas). Tabel atribut dari layer output biasanya berisi semua atribut dari layer terpotong (di sini, Daerah tangkapan), dan tidak ada dari layer kliping (Kabupaten).

Dalam contoh kami yang ditunjukkan pada gambar diatas, layer data pembatas atau kliping terdiri dari tujuh poligon daerah, dan layer data target atau terpotong berisi banyak batas daerah tangkapan air kecil. Kehadiran atribut poligon pada layer pembatas ditunjukkan oleh perbedaan corak untuk poligon daerah yang berbeda. Output dari klip terdiri dari bagian-bagian tangkapan di dalam batas layer klip. Perhatikan bahwa batas layer klip, di sini kabupaten, tidak termasuk dalam layer data output. Perhatikan juga bahwa hanya atribut untuk layer tangkapan terpotong yang dihasilkan.



Gambar 9.40: Persimpangan adalah operasi overlay umum lainnya. Baik batas dan data digabungkan dalam output, tetapi hanya untuk area yang terdapat dalam layer kliping, Counties dalam contoh ini. Alat perangkat lunak tertentu biasanya mengharuskan Anda secara eksplisit mengidentifikasi layer kliping.

Persimpangan dapat didefinisikan sebagai overlay yang menggabungkan data dari kedua layer, tetapi hanya untuk area di mana kedua layer berisi data. Fitur dari kedua layer data digabungkan. Kedua layer berfungsi sebagai data dan layer pembatas, sehingga setiap bagian poligon yang berada di satu layer tetapi tidak di layer lain akan dipotong dan dibuang.

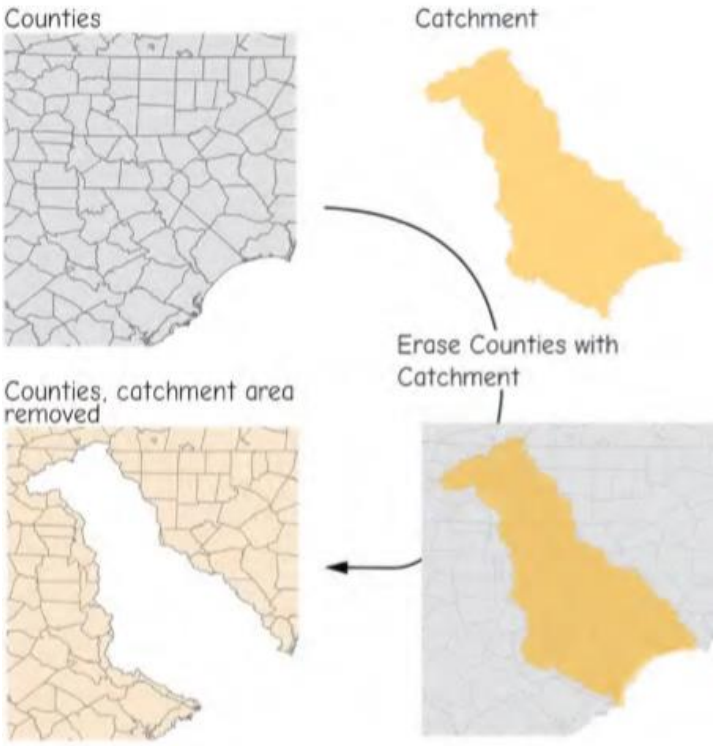


Gambar 9.41 : Sebuah operasi serikat. Data dari dua layer digabungkan, termasuk area apa pun yang ditampung oleh satu tetapi tidak kedua layer data. Tidak ada area atau data atribut yang dibuang, atau "terpotong", seperti dalam operasi persimpangan dan klip. Nilai kosong atau nol biasanya ditetapkan di area yang terdapat dalam satu tetapi bukan layer lainnya, misalnya, dalam contoh di mana county terdaftar sebagai “Tidak diketahui.”

Union adalah overlay yang mencakup semua data baik dari layer pembatas maupun layer data. Tidak ada data geografis yang dibuang dalam operasi gabungan, dan data atribut yang sesuai disimpan untuk semua wilayah. Poligon baru dibentuk oleh kombinasi data koordinat dari setiap layer data.

Banyak paket perangkat lunak mendukung varian tambahan dari operasi overlay. Beberapa mendukung fungsi Erase atau dengan nama serupa, yang merupakan pelengkap dari fungsi klip. Dalam fungsi Erase, area yang dicakup oleh layer input "dipotong" atau dihapus dari layer pembatas. Penghapusan dapat memotong poligon yang ada atau, di mana ada garis yang bertepatan di dua layer data, dapat mempertahankan tepi poligon yang ada. Dalam beberapa

versi, ada jarak toleransi yang memungkinkan garis yang tidak persis sama di layer yang berbeda, tetapi dimaksudkan untuk diwakili hanya sekali dalam output. Jarak toleransi ini secara efektif berfungsi sebagai jarak gertakan, dan memindahkan simpul dalam satu layer pada tepi yang hampir berhimpitan untuk mencocokkan simpul di layer lain. Seperti halnya gertakan selama digitalisasi atau overlay lainnya, ini dapat membantu mengurangi geometri yang salah atau tidak diinginkan.



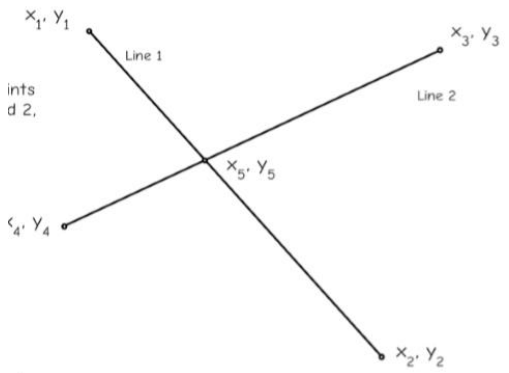
Gambar 9.42: Contoh operasi Hapus. Fitur dalam layer input "dihapus" berdasarkan batas luar poligon penghapus. Operasi ini sering digunakan dalam pengeditan atau model kartografi yang menentukan penghapusan area berdasarkan layer buffer.

Fungsi Hapus sangat berguna saat memperbarui sebagian dari layer data, di mana data lama, kedaluwarsa, kualitas yang lebih buruk, atau data yang lebih rendah dapat terpotong dari bagian dan data yang lebih baru diganti. Erase juga sering berguna dalam analisis spasial yang mencakup kriteria yang menentukan area yang lebih besar dari jarak tertentu dari sekumpulan fitur. Fungsi buffer mengidentifikasi area yang kurang dari jarak target, dan ini kemudian dapat dihapus dari pertimbangan menggunakan operasi penghapusan.

Seperti klip, perpotongan, atau overlay lain yang dapat membuat poligon baru, perhatian harus diberikan dalam mengelola atribut yang mencatat jumlah per unit area, atau variabel lain yang tidak dinormalisasi berdasarkan area. Dalam contoh kita di atas, layer county mungkin berisi total populasi untuk setiap county. Subarea dari county yang dibuat oleh fungsi hapus tidak diharapkan memiliki total yang sama, yang mungkin meningkatkan jumlah populasi untuk area tersebut dalam analisis selanjutnya. Dalam contoh yang sangat ekstrim, batas penghapusan yang berliku-liku mungkin membagi beberapa bagian kecil dari daerah berpenduduk tinggi, meningkatkan jumlah total populasi untuk layer output beberapa kali lipat. Masalah ini dapat dihindari dengan menormalkan jumlah berdasarkan area.

Ada varian lain pada serikat pekerja atau persimpangan. Sebagian besar operasi overlay khusus ini dapat dibuat dari penerapan operasi union atau overlay dalam kombinasi dengan operasi seleksi.

Overlay vektor seringkali merupakan proses komputasi yang memakan waktu, karena banyaknya garis yang harus dibandingkan. Overlay vektor biasanya memerlukan pengujian berulang dari perpotongan garis, serangkaian perhitungan yang relatif sederhana, tetapi seringkali ada sejumlah besar segmen garis dalam kumpulan data. Setiap segmen garis harus diperiksa terhadap setiap segmen garis lainnya, mungkin membutuhkan miliaran tes untuk perpotongan garis line



Gambar 9.43 : Persimpangan garis adalah operasi umum dalam overlay data vektor. Meskipun komputasinya sederhana, operasi ini diulang berkali-kali, oleh karena itu overlay vektor mungkin memerlukan waktu atau sumber daya komputasi yang besar.

Keterangan :

Mengingat kita mengetahui koordinat titik akhir ruas garis 1 dan 2 maka berapakah koordinat x5, y5, dimana ruas garis 1 dan 2 berpotongan?

Line 1 dan 2 berpotongan jika rumus liniernya sama.

Rumus garis y = mx =b

m adalah kemiringan, kenaikan selama lintasan, yang sama dengan perubahan y terhadap perubahan x.

Kita dapat menghitung kemiringan setiap segmen garis dari titik akhir.

$$m = \frac{rise}{run}$$

kemiringan garis 1 adalah :

$$m = \frac{y2 - y1}{x2 - x1}$$

Kemiringan . b1. dari baris 1 adalah:

$$b1 = y1 - m1x1$$

Kita tahu, c1, x2, y1 dan y2, jadi kita bisa menghitung m1 dan b1 dengan rumus di atas.

Kita juga dapat menghitung kemiringan dan intersep untuk baris 2 :

$$m2 = \frac{y3 - y4}{x3 - x4}$$

$$b2 = y3 - m2x1$$

$$y5 = m1x5 + b1 \quad dan\ y5 = m2x5 + b2$$

$$jadi, m1x5 + b1 = m2x5 + b2$$

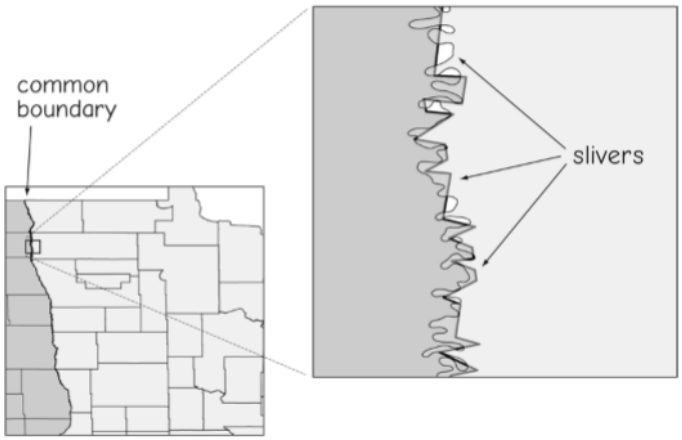
Mengatur ulang hasil :

$$x5 = \frac{b2 - b1}{m1 - m2}$$

Kita kemudian mungkin akan mengkalkulasikan y5 dengan :

$$y5 = m1x5 + b1$$

Masalah dalam Overlay Vektor



Gmbar 9.44 : Poligon sliver dapat terjadi ketika dua representasi fitur digabungkan. Batas umum antara dua fitur telah diturunkan dari sumber yang berbeda. Representasinya sedikit berbeda. Ini menghasilkan celah kecil dan poligon "sliver" di sepanjang margin antara dua layer ini.

Overlay poligon sering mengalami masalah ketika ada fitur umum yang direpresentasikan di kedua layer data input. Kami mendefinisikan fitur umum sebagai representasi berbeda dari fenomena yang sama. Gambar diatas mengilustrasikan masalah ini. Batas wilayah dapat bertepatan dengan batas negara bagian. Namun, versi yang berbeda dari batas negara bagian dan kabupaten dapat dibuat secara independen dari dua negara bagian yang berdekatan, menggunakan bahan sumber yang berbeda, pada waktu yang berbeda, dan menggunakan sistem yang berbeda. Dengan demikian, kedua representasi ini mungkin berbeda meskipun mereka mengidentifikasi batas yang sama di permukaan bumi.

Di sebagian besar layer data, perbedaannya akan sangat kecil, dan tidak akan terlihat kecuali pada skala tampilan yang sangat besar, misalnya, saat zoom di layar cukup tinggi. Perbedaannya ditunjukkan pada sisipan skala besar pada Gambar. Ketika layer data kabupaten dan negara bagian dilapis, banyak poligon kecil terbentuk di sepanjang batas. Poligon ini cukup kecil, tetapi seringkali cukup banyak.

Poligon "sliver" ini menyebabkan masalah karena ada entri dalam tabel atribut untuk setiap poligon. Satu-setengah atau lebih poligon dalam layer data output mungkin adalah sliver ini. Sliver adalah beban karena mereka mengambil ruang di tabel atribut tetapi tidak menarik atau digunakan. Analisis kumpulan data besar terhambat karena semua seleksi, sortir, atau operasi lain harus memperlakukan semua poligon, termasuk sliver. Waktu pemrosesan sering meningkat secara eksponensial dengan jumlah poligon.

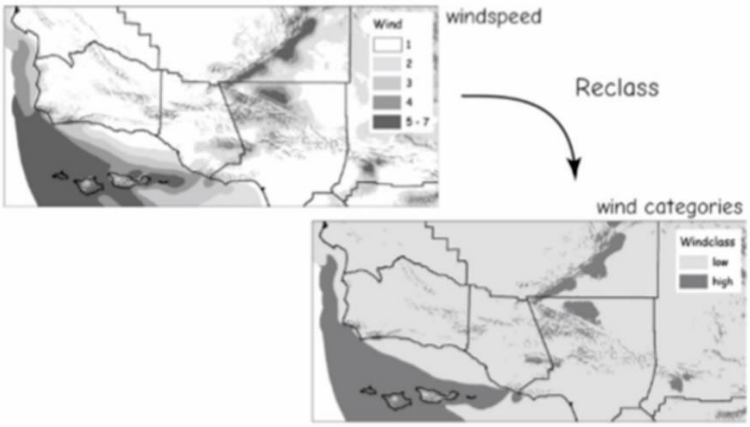
Ada beberapa metode untuk mengurangi terjadinya sliver ini. Satu mengidentifikasi semua batas umum di layer yang berbeda. Batas dengan akurasi koordinat tertinggi diganti ke semua layer data lainnya, menggantikan representasi yang kurang akurat. Ini melibatkan banyak pengeditan, dan paling umum saat mengembangkan layer data baru.

Metode lain melibatkan identifikasi dan pelepasan sliver secara manual. Poligon kecil dapat dipilih, atau poligon dengan dua busur pembatas, umum untuk poligon sliver. Garis pembatas kemudian dapat disesuaikan atau dihapus. Namun, penghapusan manual tidak praktis untuk banyak set data karena tingginya jumlah poligon sliver.

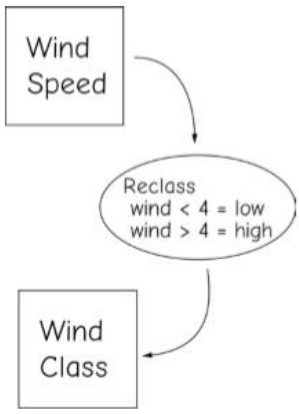
Metode ketiga untuk reduksi sliver melibatkan penentuan jarak jepret selama overlay. Sama seperti jarak sekejap yang digunakan selama pengembangan data, ini memaksa node atau garis menjadi bertepatan jika mereka berada dalam jarak tertentu selama overlay. Seperti halnya entri data, jarak snap ini harus relatif kecil terhadap akurasi spasial layer input dan akurasi yang diperlukan dari layer data output. Jika dua representasi garis berada dalam jarak jepret maka tidak akan ada poligon sliver. Dalam praktiknya, tidak semua poligon sliver dihilangkan, tetapi jumlahnya berkurang secara substansial, sehingga mengurangi waktu yang dihabiskan untuk pengeditan manual.

Deteksi dan pelepasan sliver otomatis harus diterapkan dengan hati-hati, karena dapat menghapus data berharga. Hanya sliver kecil yang harus dibuang, dengan small didefinisikan sebagai lebih kecil dari area, panjang, atau lebar yang layak dilacak. Jarak ini dapat ditentukan oleh keakuratan pengumpulan data, atau oleh persyaratan analisis. Jika lokasi tepi poligon hanya didigitalkan ke dalam satu meter dari posisi sebenarnya, tidak masuk akal untuk mempertahankan poligon yang kurang dari satu meter dalam dimensi apa pun. Namun, jika sliver dilepas yang jauh lebih lebar dan lebih panjang dari satu meter, beberapa informasi berharga mungkin hilang.

Contoh Analisis Spasial



Gambar 9.45: Daerah dengan kecepatan angin rata-rata yang sesuai untuk dipertimbangkan lebih lanjut. Ambang batas ditentukan dan digunakan dalam operasi reklasifikasi untuk mengidentifikasi area yang dapat diterima.



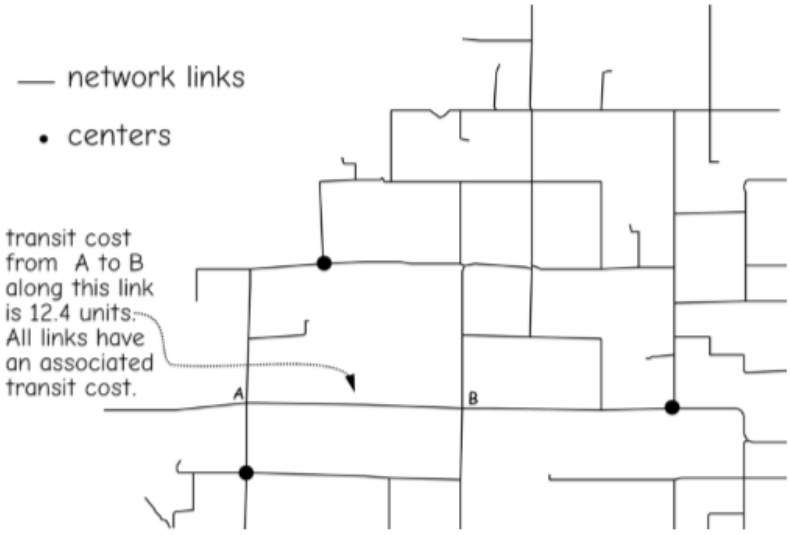
Gambar 9.46: Representasi grafis dari operasi spasial untuk membuat layer kelas angin dari data kecepatan angin.

Gambar diatas secara singkat menggambarkan aplikasi analisis spasial dasar. Kami berusaha mengidentifikasi area yang cocok untuk ladang angin, berdasarkan dua kriteria: area dengan kecepatan angin rata-rata tinggi, dan area dengan kepadatan penduduk rendah. Angin rata-rata tinggi lebih disukai karena energi yang dihasilkan di suatu lokasi meningkat seiring dengan kecepatan angin. Kepadatan penduduk yang rendah lebih disukai karena tanah lebih murah dan ada lebih sedikit tetangga yang mengganggu. Contoh sederhana ini tidak termasuk faktor tambahan yang jelas, seperti jarak ke saluran listrik, menghindari tanah yang dilindungi, atau kesulitan membangun lepas pantai vs. darat, tetapi itu menggambarkan bagaimana data dapat digabungkan dalam satu set fungsi spasial sederhana untuk menjawab pertanyaan. Analisis ini membutuhkan data angin dengan akurasi yang tepat, luas spasial, dan ringkasan yang tepat. Misalnya, saya mungkin ingin mendasarkan analisis saya pada kecepatan angin harian rata-rata, atau kecepatan angin maksimum per jam selama sehari, atau kecepatan angin harian maksimum. Jika data ini tidak ada, saya perlu mengubah rumusan masalah, metode analisis saya, atau mengembangkan data dari sumber yang ada. Misalnya, jika kumpulan data grid tidak ada, tetapi ada pengamatan titik dari jaringan stasiun cuaca, saya mungkin menggunakan interpolasi atau metode lain untuk memperkirakan kecepatan angin di seluruh wilayah studi saya. Pertimbangan ini menyoroti langkah awal yang penting dalam analisis spasial: kita harus menilai data yang tersedia, dan menentukan apakah data tersebut sesuai untuk analisis yang kita maksudkan. Jika tidak, kita harus membuat data yang diperlukan atau mengubah analisis kita.

9.7 Analisis Jaringan

Jaringan adalah hal yang biasa dalam kehidupan kita. Jalan, jaringan listrik, kabel telepon dan televisi, dan sistem distribusi air adalah contoh jaringan yang sering kita gunakan setiap hari . Karena jaringan sangat penting bagi peradaban, mereka perlu dikelola secara efektif. Jaringan ini juga mewakili investasi besar, dan pengelolaannya patut mendapat perhatian yang cukup besar. Alat analisis spasial telah dikembangkan untuk membantu kami menggunakan dan memelihara jaringan.

Gambar 9.47: Jaringan dalam GIS digunakan untuk mewakili jalan, jaringan pipa, jaringan transmisi listrik, sungai, dan sistem terhubung lainnya yang melaluinya sumber daya penting mengalir.



Gambar 9.48 : Elemen jaringan dasar. Pusat dihubungkan oleh satu set tautan. Biaya mungkin terkait dengan melintasi tautan. Analisis jaringan biasanya melibatkan pemindahan sumber daya atau permintaan di antara pusat-pusat.

Jaringan dapat didefinisikan sebagai seperangkat fitur yang terhubung, sering disebut pusat. Ciri-ciri ini dapat berupa pusat permintaan, pusat penawaran, atau keduanya. Pusat terhubung ke setidaknya satu dan mungkin banyak tautan jaringan. Tautan saling terhubung dan menyediakan jalur antar pusat. Bepergian dari satu pusat ke pusat lainnya sering kali memerlukan melintasi banyak tautan terpisah.

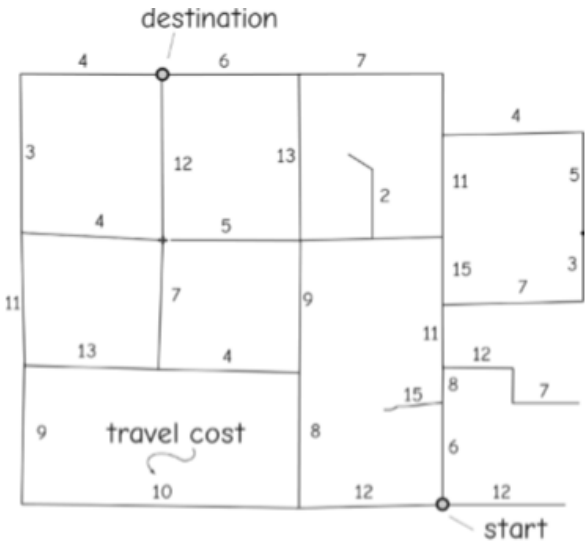
Analisis jaringan, juga dikenal sebagai model jaringan, digunakan untuk mewakili dan menganalisis biaya, waktu, pengiriman, dan akumulasi sumber daya di sepanjang tautan dan

di antara pusat-pusat yang terhubung. Sumber daya mengalir ke dan dari pusat melalui jaringan. Selain itu, sumber daya dapat dihasilkan atau diserap oleh tautan itu sendiri.

Tautan yang membentuk jaringan mungkin memiliki atribut yang mempengaruhi aliran. Misalnya, mungkin ada tautan yang memperlambat atau mempercepat aliran sumber daya, atau tautan memungkinkan sumber daya mengalir hanya dalam satu arah. Atribut tautan digunakan untuk memodelkan karakteristik aliran dari jaringan nyata; misalnya, perjalanan di beberapa jalan lebih lambat daripada yang lain, atau mobil dapat secara legal bergerak hanya dalam satu arah di jalan satu arah.

Konsep biaya transit adalah kunci untuk banyak masalah analisis jaringan. Biaya transit mencerminkan harga yang dibayarkan untuk memindahkan sumber daya melalui segmen jaringan. Biaya transit biasanya diukur dalam waktu, jarak, atau unit moneter; misalnya, biayanya 10 detik untuk melakukan perjalanan melalui tautan. Biaya mungkin konstan sehingga selalu membutuhkan waktu 10 detik untuk melintasi tautan terlepas dari arah atau waktu. Atau, biaya dapat bervariasi menurut waktu atau arah, sehingga mungkin diperlukan waktu 15 detik untuk melintasi busur selama jam sibuk pagi dan sore hari, tetapi 10 detik sebaliknya, atau mungkin diperlukan waktu dua kali lebih lama untuk melakukan perjalanan dari utara ke selatan daripada melakukan perjalanan ke selatan. ke utara.

Kami akan membahas tiga jenis masalah yang biasanya dianalisis menggunakan jaringan: pemilihan rute, alokasi sumber daya dan wilayah, dan pemodelan lalu lintas. Ada banyak jenis masalah jaringan; namun, ketiganya adalah yang paling umum dan memberikan indikasi metode dan luasnya analisis jaringan.



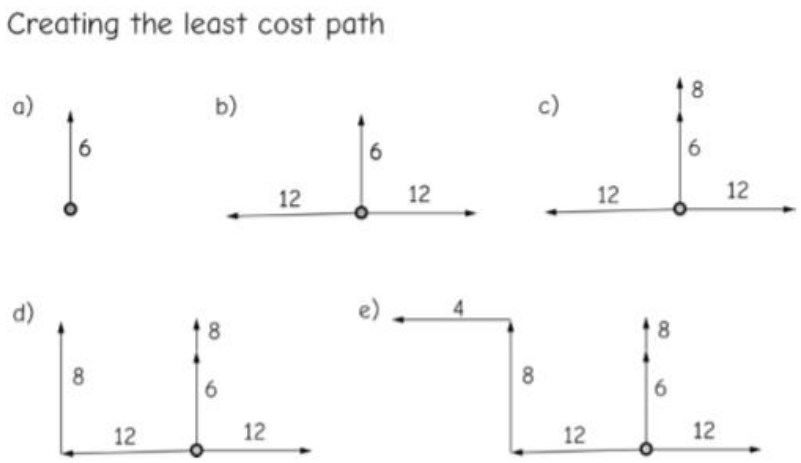
Gambar 9.49 : Contoh jaringan. Pusat awal dan tujuan serta biaya untuk traversal link ditampilkan.

Pemilihan rute melibatkan pengidentifikasian rute "terbaik" berdasarkan serangkaian kriteria yang ditentukan. Pemilihan rute sering diterapkan untuk menemukan rute paling murah yang mengunjungi sejumlah pusat. Dua atau lebih pusat diidentifikasi dalam jaringan, termasuk pusat awal dan akhir. Pusat-pusat ini semua harus dikunjungi dengan melintasi jaringan. Biasanya ada sejumlah besar rute alternatif, atau jalur, yang dapat digunakan untuk mengunjungi semua pusat. Rute terbaik dipilih berdasarkan beberapa kriteria, biasanya rute

terpendek, tercepat, atau paling murah. Pembatasan lebih lanjut dapat ditempatkan pada rute; misalnya, urutan pusat-pusat yang dikunjungi dapat ditentukan.

Pemilihan rute dapat digunakan untuk meningkatkan pergerakan angkutan umum melalui jaringan. Bus sekolah sering dirutekan menggunakan analisis jaringan. Setiap bus harus berangkat dan berakhir di sebuah sekolah (pusat) dan menjemput anak-anak di sejumlah halte (juga pusat). Jalur terpendek atau rute waktu dapat ditentukan. Rute alternatif dianalisis dan rute "terbaik" dipilih

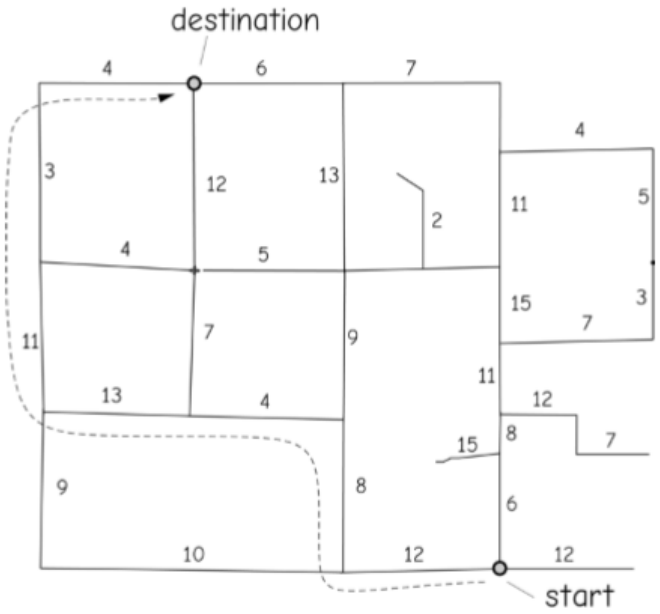
Pemilihan rute terbaik melibatkan algoritme yang secara rekursif mengikuti himpunan busur dengan biaya terendah, dimulai dari node saat ini. Satu set link jaringan yang saling berhubungan diidentifikasi, serta pusat awal dan tujuan. Rute dari awal ke lokasi tujuan biasanya dibangun secara iteratif. Satu algoritma pencarian rute menambahkan link dengan biaya terendah pada setiap langkah. Beberapa jalur diuji hingga jalur menghubungkan pusat awal dan tujuan.



Gambar 9.50: Contoh jaringan. Pusat awal dan tujuan serta biaya untuk traversal link ditampilkan.

Metode sederhana ini dimulai dari pusat awal. Jalur diperluas dengan menambahkan tautan yang memberikan total biaya terendah untuk semua jalur yang saat ini ditempuh. Kumpulan awal tautan kandidat terdiri dari semua tautan yang terhubung ke titik awal. Tautan biaya terendah ditambahkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar a. Tautan dengan nilai enam dipilih. Sekarang kumpulan tautan kandidat terdiri dari tautan apa pun yang terhubung ke tautan yang dipilih ini (dua tautan dengan biaya masing-masing 15 dan 8), ditambah semua yang terhubung ke titik awal. Semua jalur diperiksa, dan tautan ditambahkan yang memberikan total panjang jalur terendah. Pada Gambar b, dua tautan ditambahkan. Perhatikan bahwa tautan yang ditambahkan tidak terhubung ke tautan yang awalnya dipilih. Ini akan memberikan total biaya 14 (6 ditambah 8) atau 21 (6 ditambah 15), sedangkan tautan yang dipilih memberikan biaya jalur yang lebih rendah dari 12. Sekarang, tautan kandidat adalah tautan yang terhubung ke salah satu tautan yang dipilih atau ke titik awal. Karena semua tautan dari titik awal telah dipilih, hanya yang terhubung ke tautan kandidat yang diperiksa. Dari jumlah tersebut, jalur biaya terendah ditambahkan. Tautan dengan biaya 8 yang dilampirkan ke tautan yang awalnya dipilih dipilih (Gambar c). Kumpulan kandidat berkembang sesuai, dan dievaluasi lagi. Pastikan bahwa tautan yang ditunjukkan pada

Gambar d dan Gambar e harus menjadi jalur kumulatif biaya rendah berikutnya yang dipilih. Metode ini digunakan sampai tujuan tercapai, dan jalur yang paling murah diidentifikasi.



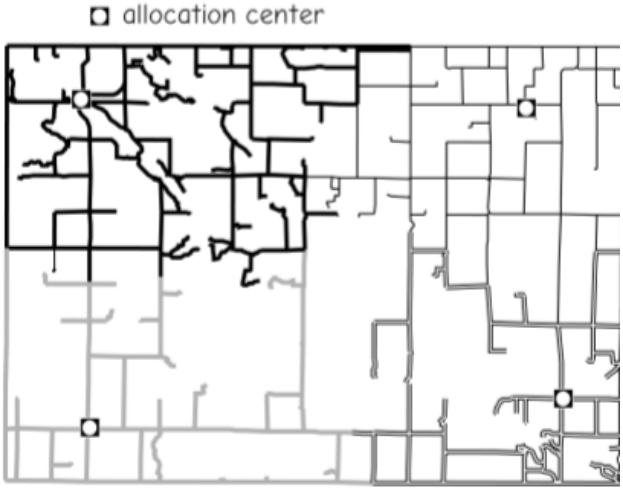
Gambar 9.51: Jalur dengan biaya terendah untuk contoh algoritma pencarian rute yang dijelaskan dalam teks.

Banyak algoritma pencarian jalan yang berbeda telah dikembangkan, sebagian besar jauh lebih canggih daripada yang dijelaskan di atas. Perhatikan bahwa algoritma pencarian jalan yang dijelaskan memiliki jumlah tautan yang berkembang pesat untuk dievaluasi pada setiap langkah. Beban komputasi meningkat sesuai dengan itu. Sebuah subset dari semua kemungkinan jalur kandidat dapat diperiksa karena menjadi terlalu memakan waktu komputasi untuk memeriksa semua jalur yang mungkin. Sebagian besar algoritma pencarian jalur secara berkala meninjau total akumulasi biaya sejauh ini untuk setiap jalur kandidat dan berhenti mengikuti jalur dengan biaya tertinggi atau paling tidak menjanjikan.

Ada banyak variasi pada masalah pencarian rute ini. Mungkin ada beberapa pusat yang harus dikunjungi dalam urutan tertentu, dan operator ditentukan untuk mengangkut jumlah tertentu ke atau dari pusat. Pusat dapat menambah atau mengurangi dari operator; misalnya, beberapa pusat mungkin mewakili rumah dengan anak-anak, pusat lain mungkin mewakili sekolah, dan operator mewakili bus yang mengangkut anak-anak. Rumah harus dikunjungi untuk menjemput anak-anak, tetapi bus memiliki kapasitas tetap. Anak-anak ini harus diangkut ke sekolah, dan mungkin ada kendala waktu; misalnya, anak-anak tidak dapat dijemput sebelum pukul 7 pagi dan harus sudah berada di sekolah pada pukul 07:55 pagi. Pemilihan rute berbasis jaringan telah berhasil digunakan untuk memecahkan masalah ini dan terkait.

Masalah alokasi sumber daya melibatkan pembagian jaringan ke pusat. Satu atau lebih pusat alokasi didefinisikan dalam jaringan. Wilayah ditentukan untuk masing-masing pusat ini. Wilayah mencakup tautan atau pusat non-alokasi dalam jaringan. Tautan atau pusat non-alokasi ini ditugaskan hanya ke satu pusat alokasi. Fitur biasanya ditugaskan ke pusat terdekat, di mana jarak diukur dalam waktu, panjang, atau unit moneter.

Algoritme alokasi sumber daya mungkin mirip dengan algoritme pencarian rute karena jarak keluar dari setiap pusat dihitung sepanjang setiap jalur. Setiap pusat atau busur ditugaskan ke pusat terdekat atau paling murah. Metode pencarian rute sangat lengkap dalam alokasi sumber daya, di mana semua rute ditempuh, bukan hanya rute dengan biaya terendah. Rute diukur keluar dari setiap pusat alokasi.



Gambar 9.52: Alokasi tautan jaringan ke pusat yang berbeda. Tautan jaringan atau sumber daya ditugaskan ke pusat "terdekat", di mana jarak dapat ditentukan oleh jarak fisik, atau oleh biaya, waktu perjalanan, atau beberapa faktor lainnya.

Variasi alokasi sumber daya termasuk pengaturan kapasitas pusat. Kapasitas pusat menetapkan batas atas sumber daya yang dapat dicakup oleh suatu wilayah. Tautan ditetapkan ke pusat terdekat, tetapi setelah kapasitas tercapai, tidak ada lagi yang ditambahkan. Jarak maksimum juga berfungsi untuk membatasi jangkauan wilayah dari pusat. Kedua pembatasan ini dapat mengakibatkan beberapa area yang tidak ditetapkan, yaitu bagian dari jaringan yang tidak dialokasikan ke pusat.

Analisis alokasi sumber daya digunakan dalam banyak disiplin ilmu. Distrik sekolah dapat menggunakan alokasi sumber daya untuk menetapkan lingkungan ke sekolah. Jenis dan jumlah tempat tinggal di suatu distrik dapat dimasukkan sebagai simpul pada jaringan. Jumlah anak di sepanjang setiap link ditambahkan sampai kapasitas sekolah tercapai. Alokasi sumber daya juga dapat digunakan untuk menentukan wilayah penjualan, atau untuk menentukan apakah bisnis baru harus ditempatkan di antara bisnis yang ada. Jika cukup banyak pelanggan jatuh di antara wilayah pusat bisnis yang ada, bisnis baru antara pusat bisnis yang ada dapat dibenarkan.

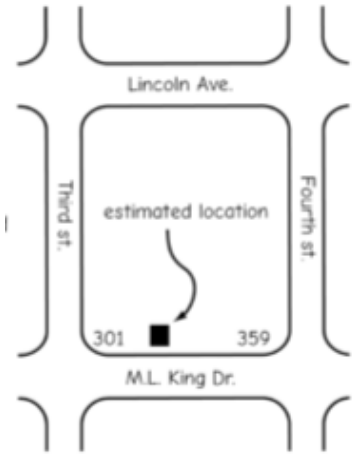
Pemodelan lalu lintas adalah analisis jaringan lain yang sering diterapkan. Jalan diwakili oleh jaringan busur dan simpul yang saling berhubungan. Atribut yang terkait dengan busur menentukan kecepatan dan arah perjalanan. Atribut yang terkait dengan node mengidentifikasi belokan dan waktu atau biaya yang diperlukan untuk setiap belokan. Belokan ilegal atau tidak mungkin dapat dimodelkan dengan menentukan biaya tak terbatas. Lalu lintas ditempatkan di jaringan, dan gerakan dimodelkan. Kemacetan, waktu transit, dan rute yang kurang dimanfaatkan dapat diidentifikasi, dan informasi ini digunakan untuk meningkatkan manajemen lalu lintas atau membangun jalan tambahan.

Pemodelan lalu lintas melalui jaringan adalah subdisiplin tersendiri. Karena biaya dan pentingnya transportasi dan manajemen lalu lintas, banyak penekanan telah ditempatkan pada manajemen lalu lintas yang efisien. Insinyur transportasi, ilmuwan komputer, dan matematikawan telah memodelkan lalu lintas melalui jaringan selama bertahun-tahun.

9.7.1 Geocoding

Geocoding, juga dikenal sebagai referensi linier, adalah aplikasi umum lainnya dari jaringan data spasial. Geocoding adalah proses fitur titik referensi spasial berdasarkan alamat fitur dan pengetahuan tentang rentang alamat untuk jaringan linier.

Geocoding umumnya diterapkan untuk penjualan bisnis, pemasaran, pengiriman kendaraan dan operasi pengiriman, dan untuk mengatur sensus dan kegiatan pengumpulan dan penyebaran informasi pemerintah lainnya. Geocoding membutuhkan satu set alamat yang terkait dengan satu set fitur linier. Biasanya setidaknya alamat awal dan akhir untuk tautan dalam jaringan diketahui. Alamat awal dan akhir ini menentukan rentang alamat, dan rentang diasumsikan secara linier menjangkau garis penghubung. Titik-titik pada garis mungkin "dikodekan secara geografis" (oleh karena itu disebut geocoding), dalam alamat yang diberikan, kita dapat menghitung kira-kira di mana alamat harus muncul pada tautan jaringan.



Gambar 9.53 : Geocoding adalah proses memperkirakan lokasi alamat berdasarkan pengetahuan tentang rentang alamat sepanjang fitur linier. Di sini lokasi alamat diinterpolasi secara linier di sepanjang blok kota, memberikan perkiraan lokasi sebuah bangunan.

Keterangan :

Geocoding : alamat 321 ML king drive adalah tempat lokasi yaitu :

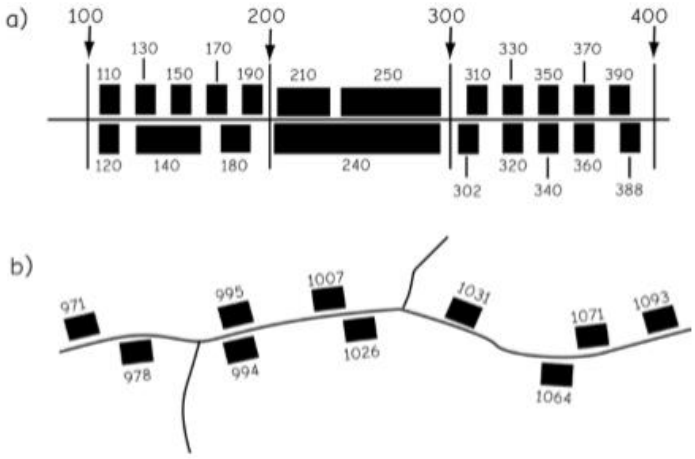
(321-301)/(359-301)

jarak dari lokasi 301 ke lokasi 359, antara jalan Ketiga dan Keempat. Nilai koordinat diperkirakan kira-kira

Alamat geocode biasanya diasumsikan bervariasi secara linear di sepanjang link. Alamat awal dan akhir diasumsikan berada di ujung tautan. Perkiraan lokasi alamat yang di-geocode didasarkan pada interpolasi linier, dimulai dari alamat awal dan menambahkan panjang yang

sebanding dengan alamat dibagi dengan rentang alamat. Perkiraan lokasi dapat ditempatkan di dalam blok atau segmen garis.

Karena geocoding hanya memperkirakan lokasi alamat, lokasi ini mungkin mengandung kesalahan besar. Kesalahan ini mungkin lebih besar daripada kesalahan yang terkait dengan fitur linier di mana alamat geokode ditempatkan.



Gambar 9.54 : Pengembangan idiosinkratik dapat menghasilkan urutan alamat non-linear di lapangan, sehingga kesalahan dapat terjadi saat geocoding diterapkan. Geocoding biasanya diterapkan dengan asumsi distribusi linier alamat di seluruh rentang. Jika ini tidak benar, seperti yang diilustrasikan dengan alamat 250 di bagian a, di atas, atau 1026 di bagian b, lokasi yang di-geocode akan salah.

Gambar diatas mengilustrasikan beberapa sumber kesalahan. Geocoding biasanya melibatkan interpolasi linier reguler dari sebuah alamat di seluruh rentang alamat. Rentang alamat biasanya ditetapkan secara ordinal, sedangkan geocode adalah perkiraan interval. Pada Gambar a alamat 250 tidak setengah jalan antara 200 dan 300, dan alamat 240 menempati seluruh blok. Ketidakcocokan ordinal/interval ini mungkin sangat buruk di daerah pedesaan, di mana pembangunan dalam jangka waktu yang lama dapat mengakibatkan pengaturan alamat nonlinier yang substansial. Gambar b mengilustrasikan hal ini, dengan alamat 1007 yang hampir berlawanan dengan alamat 1026, dan banyak interval yang tidak konsisten; misalnya, 22 unit alamat antara 1071 dan 1093 dipisahkan oleh jarak yang lebih pendek daripada 12 unit alamat antara 995 dan 1007. Alamat nonlinier ini dapat menyebabkan kebingungan yang substansial, sehingga aplikasi data geokode harus memungkinkan ketidakkonsistenan ini, atau data harus dievaluasi dan diperbaiki.

Geocoding sering dikombinasikan dengan analisis jaringan untuk menentukan jalur terpendek atau perjalanan waktu ke satu set lokasi. Lokasi pengiriman dapat dihasilkan dari daftar pesanan ke bisnis. Lokasi alamat ini dihasilkan melalui geocoding. Lokasi kemudian dapat dimasukkan ke dalam algoritma pencarian jaringan dan rute optimal yang direncanakan. Bisnis menghemat jutaan dolar setiap tahun dengan menerapkan analisis spasial dasar ini.

9.8 Kesimpulan

Analisis spasial, bersama dengan produksi peta, adalah salah satu penggunaan GIS yang paling penting. Kemampuan analitis spasial sering menjadi alasan kami memperoleh GIS dan

menginvestasikan waktu dan uang yang besar untuk mengembangkan sistem kerja. Setiap operasi analitik yang kami lakukan pada data atribut spasial atau terkait kami dapat dianggap sebagai analisis spasial.

Operasi spasial diterapkan untuk memasukkan data dan menghasilkan data output. Input dapat berupa satu hingga banyak layer data spasial, maupun data nonspasial. Output juga dapat nomor dari satu ke banyak. Operasi juga memiliki ruang lingkup spasial, area data input yang berkontribusi pada nilai output. Cakupan umumnya lokal, lingkungan, atau global.

Seleksi dan klasifikasi adalah salah satu operasi data spasial yang paling sering digunakan. Seleksi mengidentifikasi subset fitur dalam database spasial. Pemilihan dapat didasarkan pada data atribut, data spasial, atau kombinasi keduanya. Seleksi dapat menerapkan aljabar himpunan atau Boolean, dan dapat menggabungkannya dengan analisis kedekatan, konektivitas, atau penahanan. Himpunan yang dipilih dapat diklasifikasikan dalam variabel yang dapat diubah atau variabel baru ditambahkan yang mencerminkan keanggotaan dalam himpunan yang dipilih.

Klasifikasi dapat diberikan secara otomatis, tetapi pengguna harus berhati-hati dalam memilih penugasan. Klasifikasi area yang sama, interval yang sama, dan jeda alami sering digunakan. Klasifikasi yang dihasilkan dapat bergantung secara substansial pada histogram frekuensi dari layer data input, terutama jika terdapat outlier.

Operasi pembubaran sering digunakan dalam analisis spasial. Dissolves secara rutin diterapkan setelah klasifikasi, karena menghilangkan batas-batas berlebihan yang dapat memperlambat pemrosesan.

Fungsi kedekatan dan buffer juga umum diterapkan pada operasi data spasial. Fungsi-fungsi ini menjawab pertanyaan tentang jarak dan pemisahan antara fitur dalam layer data yang sama atau berbeda. Buffering dapat diterapkan pada data raster atau vektor, dan mungkin sederhana, dengan jarak buffer yang seragam, atau kompleks, dengan beberapa buffer Nested atau jarak buffer variabel.

Overlay melibatkan kombinasi vertikal data dari dua atau lebih layer. Baik geometri (koordinat) dan atribut digabungkan. Kombinasi titik, garis, dan fitur area apa pun dimungkinkan, meskipun overlay yang melibatkan setidaknya satu layer fitur area adalah yang paling umum. Hasil overlay biasanya mengambil dimensi geometrik terendah dari layer input.

Overlay terkadang menciptakan celah dan sliver. Ini paling sering terjadi ketika fitur umum terjadi dalam dua atau lebih layer. Celah dan sliver ini dapat dihilangkan dengan beberapa teknik.

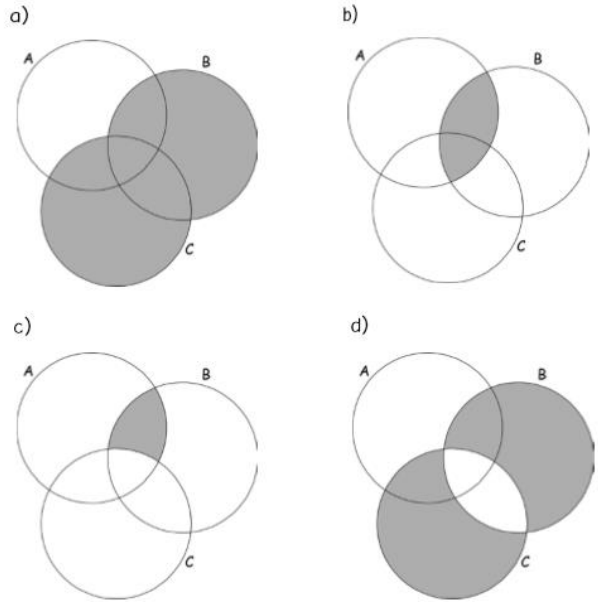
Model jaringan mungkin dinamis atau statis sementara, tetapi mereka dibatasi untuk memodelkan aliran sumber daya melalui serangkaian fitur linier dan titik yang terhubung. Arus lalu lintas, pengiriman minyak dan gas, atau jaringan listrik adalah contoh fitur yang dianalisis dan dikelola dengan model jaringan. Pencarian rute, alokasi, dan aliran biasanya dimodelkan dalam jaringan.

Geocoding, atau referensi linier, digunakan untuk menghitung perkiraan lokasi di sepanjang segmen linier ketika alamat titik akhir diketahui. Sering digunakan dalam aplikasi sensus dan pengiriman, geocoding berfungsi paling baik ketika alamat ditempatkan secara seragam di

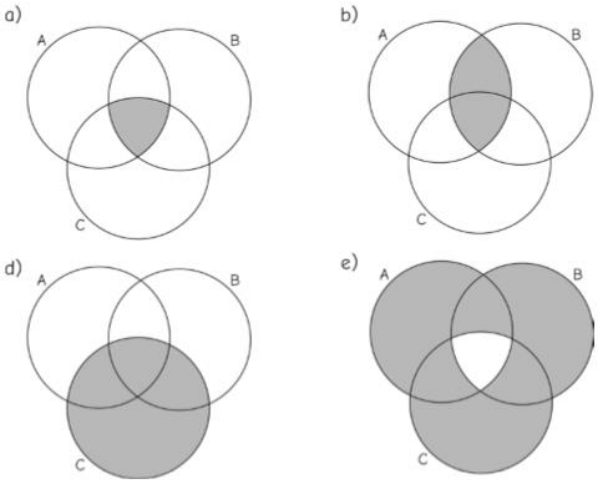
seluruh segmen. Karena merupakan perkiraan, lokasi yang di-geocode terkadang diperkirakan akan salah, dan kesalahan ini sering kali lebih sering terjadi di segmen pedesaan atau dengan alamat yang jarang. Referensi linier juga dapat digunakan untuk menemukan perubahan karakteristik fitur linier, misalnya, permukaan jalan atau lokasi kecelakaan.

9.9 Soal Latihan

1. Mendefinisikan dan memberikan contoh operasi spasial lokal, lingkungan, dan global.
2. Jelaskan operasi seleksi.
3. Menjelaskan himpunan dan aljabar Boolean.
4. Tulis ekspresi Boolean paling sederhana yang menghasilkan pilihan area abu-abu:

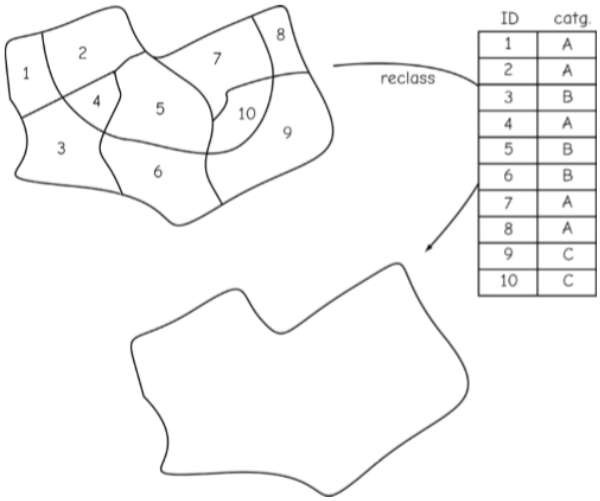


5. Tulis ekspresi Boolean paling sederhana yang menghasilkan pemilihan area abu-abu:



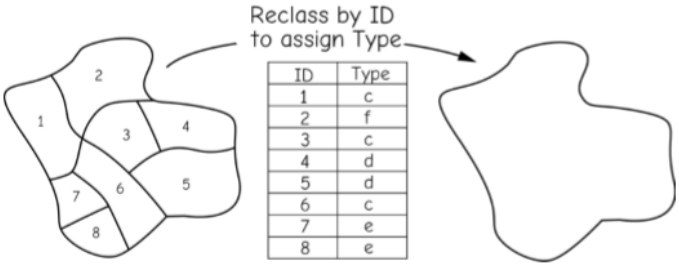
6. Lakukan klasifikasi ulang berikut:

9.6 - Perform the following reclassification:



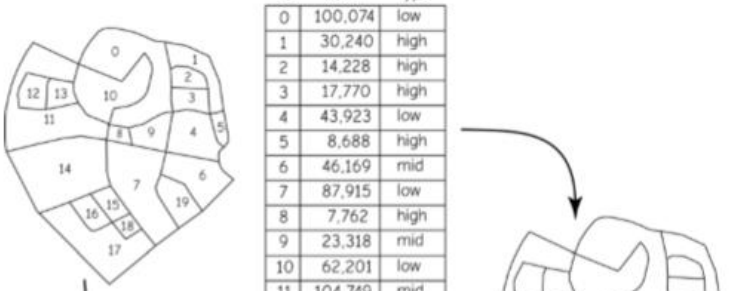
ID	catg.
1	A
2	A
3	B
4	A
5	B
6	B
7	A
8	A
9	C
10	C

7. Lakukan klasifikasi ulang berikut:



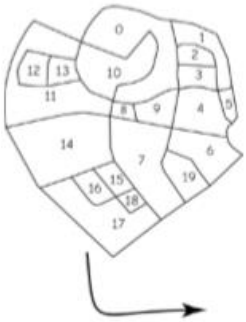
ID	Type
1	c
2	f
3	c
4	d
5	d
6	c
7	e
8	e

8. Reklasifikasi poligon berikut, menurut Area kolom, menjadi kecil (<18000), sedang (18000 hingga 45000), dan besar (> 45000).

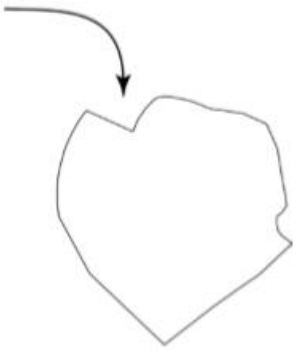


ID	Area	Type
0	100,074	low
1	30,240	high
2	14,228	high
3	17,770	high
4	43,923	low
5	8,688	high
6	46,169	mid
7	87,915	low
8	7,762	high
9	23,318	mid
10	62,201	low
11	104,749	mid
12	19,036	mid
13	15,239	high
14	111,718	low
15	14,854	high
16	16,948	high
17	77,985	low
18	8,281	high
19	27,437	mid

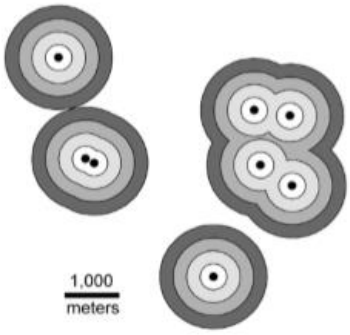
9. Sebutkan dan jelaskan tiga metode klasifikasi yang berbeda.
10. Apa masalah unit area yang dapat dimodifikasi (MAUP)? Mengapa itu penting? Apa efek zona, dan apa efek area?
11. Apa itu operasi pembubaran? Untuk apa mereka biasanya digunakan?
12. Lakukan operasi pembubaran pada variabel Tipe untuk layer yang digambarkan di bawah ini:



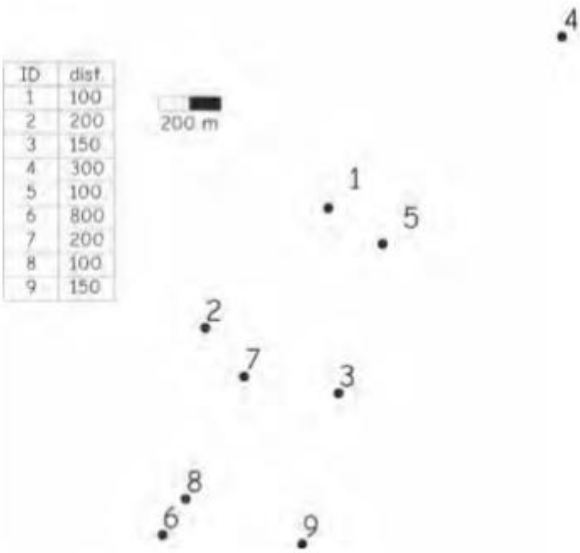
ID	Area	Type
0	100,074	low
1	30,240	high
2	14,228	high
3	17,770	high
4	43,923	low
5	8,688	high
6	46,169	mid
7	87,915	low
8	7,762	high
9	23,318	mid
10	62,201	low
11	104,749	mid
12	19,036	mid
13	15,239	high
14	111,718	low
15	14,854	high
16	16,948	high
17	77,985	low
18	8,281	high
19	27,437	mid



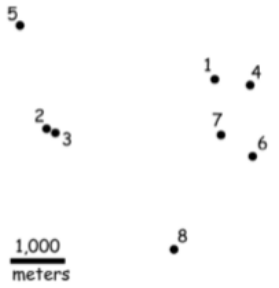
13. Pilih karakteristik yang paling sesuai untuk buffer di bawah ini. Apakah sederhana, multidistance, atau variabel jarak? Apakah itu mempertahankan atau membubarkan persimpangan? Apakah interior atau eksterior?



14. Buat sketsa output dari buffer jarak variabel yang diterapkan ke kumpulan titik yang ditunjukkan di bawah ini. Gambarkan buffer output yang me*dissolve*kan batas antara area yang termasuk dalam beberapa buffer.

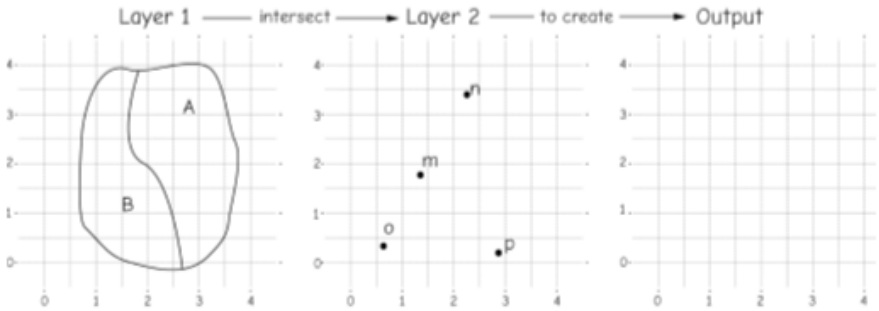


15. Buat sketsa output dari buffer jarak variabel yang diterapkan ke kumpulan titik yang ditunjukkan di bawah ini. Me*dissolve*kan batas-batas untuk berpotongan buffer.



ID	distance
1	250
2	0
3	1500
4	500
5	0
6	500
7	250
8	250

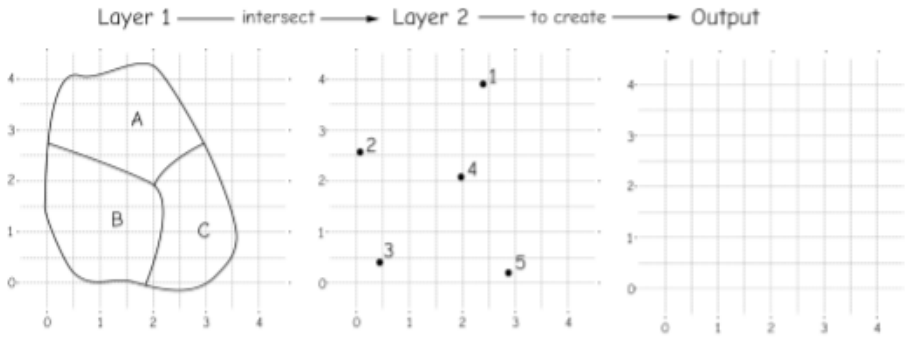
16. Bagaimana fungsi kedekatan raster berbeda dari fungsi kedekatan vektor?
17. Jelaskan konsep dasar di balik overlay layer.
18. Mengapa fitur output dalam overlay vektor biasanya diatur ke urutan dimensi minimum (titik, garis, atau poligon) dari fitur masukan?
19. Lengkapi tabel untuk overlay titik vektor yang ditunjukkan di bawah ini:



ID	Lndcov	county
A	forest	Wallowa
B	urban	Lincoln

ID	name	type
m	Boulder	CZy
n	Butte	YaBo
o	Rockville	Sqr
p	Ophir	LeKr

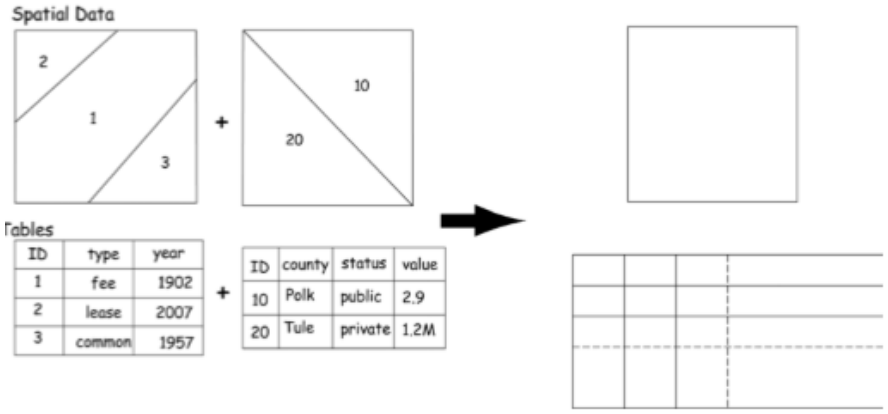
20. Lengkapi tabel untuk overlay titik vektor yang ditunjukkan di bawah ini:



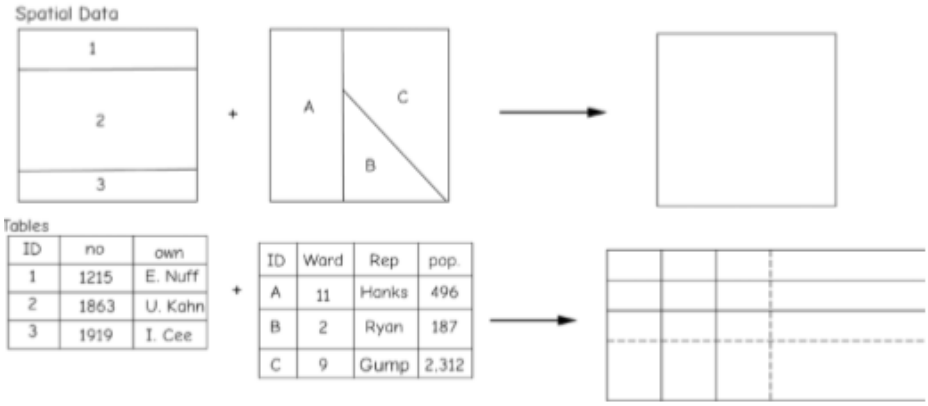
ID	code	stts
A	Grs	fee
B	Wtl	lease
C	Urb	TxDf

ID	ctgry
1	FtTyr
2	XC
3	STrk
4	Exp
5	CFbr

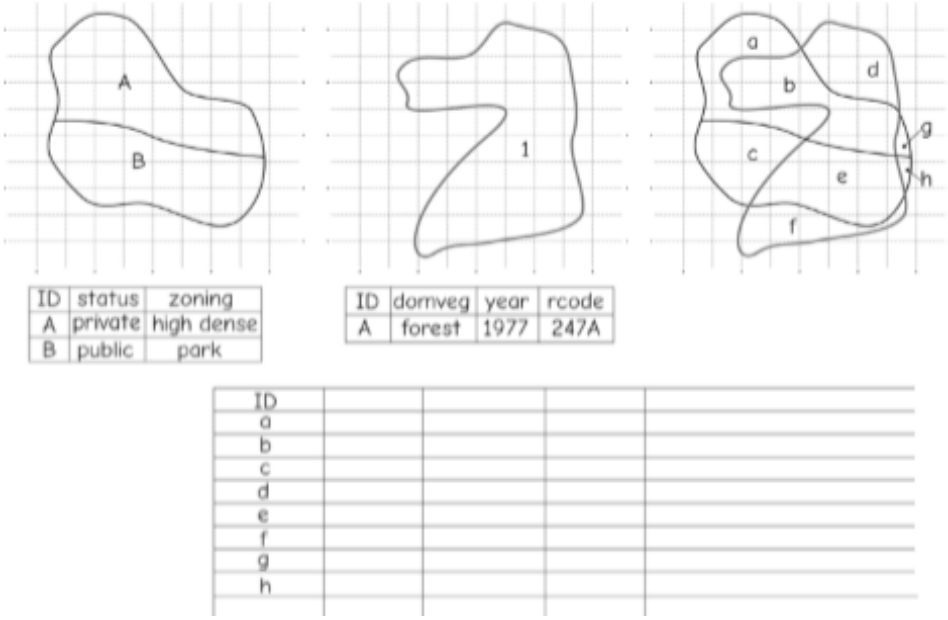
21. Sketsa poligon output dan tabel atribut yang dihasilkan dari overlay yang ditunjukkan di bawah ini:



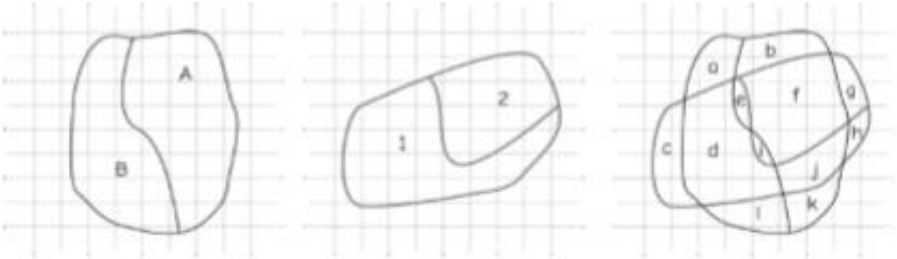
22. Sketsa poligon output dan tabel atribut yang dihasilkan dari overlay yang ditunjukkan di bawah ini:



23. Lengkapi tabel dalam poligon union yang digambarkan di bawah ini:



24. Lengkapi tabel dalam poligon union yang digambarkan di bawah ini:

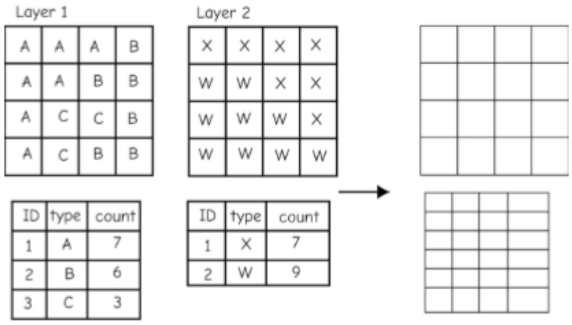


ID	Lndcov	county
A	forest	Wallowa
B	urban	Lincoln

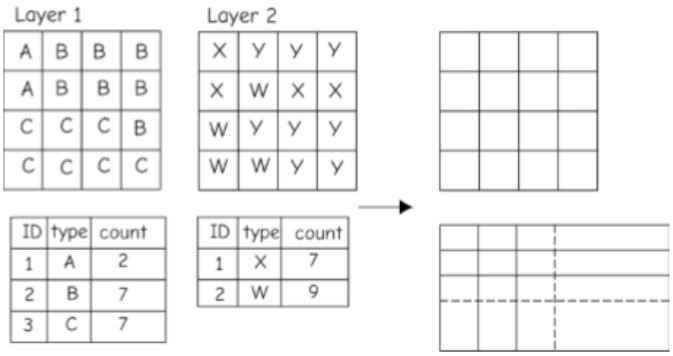
ID	type	txtr
1	Evern	sand
2	Gillard	clay

ID				
a				
b				
c				
d				
e				
f				
g				
h				
i				
j				
k				
l				

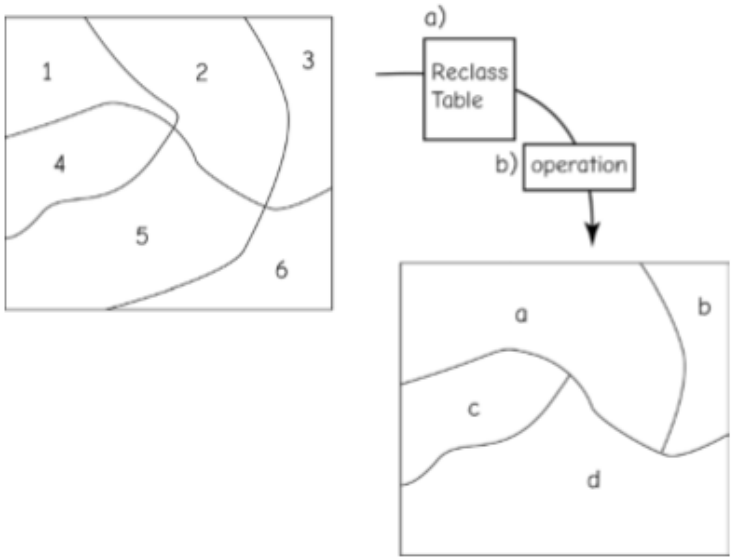
25. Apakah masalah sliver dalam overlay layer vektor? Bagaimana masalah ini dapat diselesaikan?
26. Sketsa output dari overlay raster yang ditunjukkan di bawah ini, memberikan nilai sel dan tabel output dengan variabel ID dan jumlah.



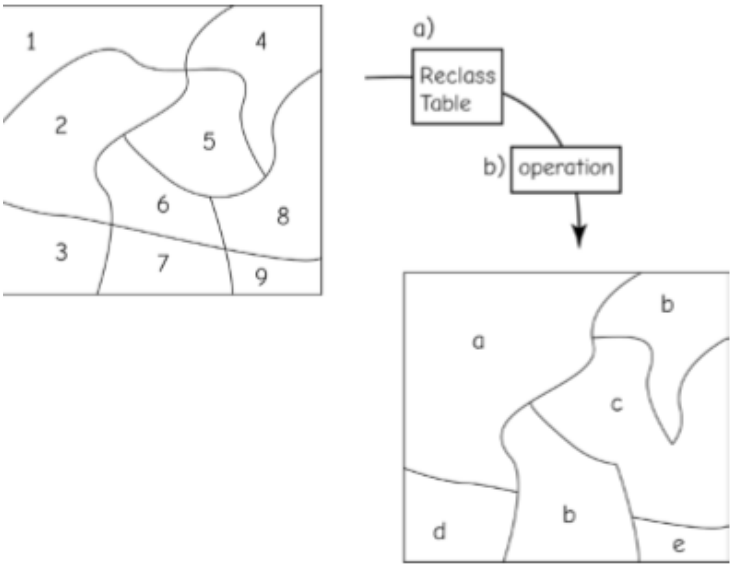
27. Sketsa output dari overlay raster yang ditunjukkan di bawah ini, memberikan nilai sel dan tabel output dengan variabel ID dan jumlah.



28. Jelaskan/Definisikan model jaringan. Apa yang membedakan mereka dari model spasial atau temporal lainnya?
29. Apa kegunaan umum model jaringan? Mengapa model-model ini begitu penting?
30. Jika Anda memulai dengan layer di sebelah kiri, dan ingin membuat layer di sebelah kanan, tabel apa yang akan Anda gunakan dalam a) untuk operasi kelas ulang, dan operasi spasial tunggal apa yang akan Anda gunakan di b) untuk mendapatkan hasil yang diinginkan?



31. Jika Anda mulai dengan layer di sebelah kiri, dan ingin membuat layer di sebelah kanan, tabel apa yang akan Anda gunakan dalam a) untuk operasi kelas ulang, dan operasi spasial tunggal apa yang akan Anda gunakan di b) untuk mendapatkan hasil yang diinginkan?



9.10 DAFTAR PUSTAKA

Ahuja, R.K., Magnanti, T.L., Orlin, J.B. (1993). Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Aronoff, S. (1989). Geographic Information Systems, A Management Perspective. Ottawa: WDL Publications.

Batty, M., Xie, Y. (1994). Model structures, exploratory spatial data analysis, and aggregation. International Journal of Geographical Information Systems, 8:291– 307.

Bonham-Carter, G. F. (1996). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Ottawa: Pergamon.

Carver, S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. International Journal of Geographical Information Systems, 5:321– 340.

Chou, Y. H. (1997). Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems. Albuquerque:Onword Press.

Cliff, A.D., Ord, J.K. (1981). Spatial Processes: Models and Applications. London: Pion.

Cooper, L. (1963). Location-allocation problems. Operations Research, 11:331–342.

Dale, P. (2005). Introduction to Mathematical Techniques Used in GIS. Boca Raton: CRC Press. Daskins, M.S. (1995). Network and Discrete Location - Models, Algorithms, and Applications. New York: Wiley.

DeMers, M. (2000). Fundamentals of Geographic Information Systems (2nd ed.). New York: Wiley.

Heuvelink, G.B.M., Burrough, P.A. (1993). Error propagation in cartographic modelling using Boolean logic and continuous classification. International Journal of Geographical Information Systems, 7:231–246.

Laurini, R., Thompson, D. (1992). Fundamentals of Spatial Information Systems. London: Academic Press.

Lombardi, J., Stern, E., Clarke, G. (2015). Applied Spatial Modelling and Planning. London: Routledge Press.

Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: Wiley. Martin, D. (1996). Geographical Information Systems and their Socio-economic Applications (2nd ed.). London: Routledge.

McMaster, S., McMaster, R.B. (2002). Biophysical and human-social applications. J.D. Bossler (Ed.), Manual of Geospatial Science and Technology. London: Taylor and Francis.

Monmonier, M. (1993). How To Lie With Maps. Chicago: University of Chicago Press.

National Research Council of the National Academies (2006). Beyond Mapping: Meeting National Needs Through Enhanced Geographic Information Science. Washington D.C.: The National Academies Press.

Openshaw, S., Taylor, P. (1979). A million or so correlation coefficients: Three experiments on the modifiable areal unit problem. N. Wrigley (Ed.) Statistical Applications in the Spatial Sciences. London: Pion.

Smith, M.J.de, Goodchild, M.F., Longley, P.A. (2007). Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. Leicester: Winchelsea Press.

Stillwell, J.A., Clarke, G. (2004). Applied GIS and Spatial Analysis. New York: Wiley.

Steinitz, C P., Jordan, L. (1976). Hand-drawn overlays: Their history and prospective uses. Landscape Architecture, 56:146–157.

Worboys, M.F., Duckham, M. (2004). GIS: A Computing Perspective (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.

BAB 10
TOPIK PADA ANALISIS RASTER

10.1 Pendahuluan

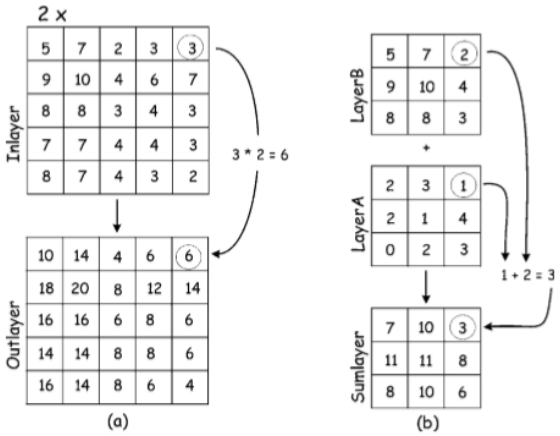
Analisis raster berkisar dari yang sederhana hingga yang kompleks, sebagian besar disebabkan oleh penemuan awal, kesederhanaan, dan fleksibilitas model data raster. Raster didasarkan pada array dua dimensi, struktur data yang didukung oleh banyak bahasa pemrograman paling awal. Format baris dan kolom raster adalah salah satu yang paling mudah ditentukan dalam kode komputer dan mudah dipahami, sehingga mendorong modifikasi, eksperimen, dan pembuatan operasi raster baru. Sel raster dapat menyimpan data nominal, ordinal, atau interval/rasio, sehingga berbagai variabel dapat direpresentasikan. Konstruksi kompleks dapat dibangun dari data raster, termasuk jaringan sel yang terhubung, atau kelompok sel untuk membentuk area.

Fleksibilitas analisis raster telah banyak ditunjukkan oleh berbagai masalah yang telah mereka bantu selesaikan. Analisis raster secara rutin digunakan untuk memprediksi nasib polutan di atmosfer, penyebaran penyakit, migrasi hewan, dan hasil panen. Fenomena variasi waktu dan area yang luas sering dianalisis menggunakan data raster, terutama jika input penginderaan jauh tersedia. Analisis raster diterapkan pada berbagai skala, dari masalah berbutir halus.

Sejarah panjang analisis raster telah menghasilkan seperangkat alat yang harus dipahami oleh setiap pengguna GIS. Banyak dari alat ini memiliki dasar konseptual yang sama dan dapat disesuaikan dengan beberapa jenis masalah. Selain itu, metode analisis raster khusus telah dikembangkan untuk masalah yang jarang ditemui. Pengguna GIS dapat lebih efektif menerapkan analisis data raster jika dia memahami konsep yang mendasarinya dan telah mengenal berbagai metode analisis raster

10.2 Map Ajabar

Aljabar (Algebra) adalah kombinasi sel demi sel dari layer data raster. Kombinasi tersebut memerlukan penerapan satu set fungsi lokal dan lingkungan, dan pada tingkat lebih rendah fungsi global, untuk data raster. Konsep Algebra didasarkan pada struktur data angka yang sederhana namun fleksibel dan berguna yang disimpan dalam kisi raster. Setiap angka mewakili nilai di lokasi sel raster. Operasi sederhana dapat diterapkan untuk setiap nomor dalam raster. Selanjutnya, layer raster dapat digabungkan melalui operasi seperti penambahan layer, pengurangan, dan perkalian.



Gambar 10.1: Contoh operasi raster Di sisi kiri (a) setiap sel input dikalikan dengan nilai 2, dan hasilnya disimpan di lokasi output yang sesuai. Sisi kanan (b) dari gambar mengilustrasikan penambahan layer.

Algebra memerlukan operasi yang diterapkan pada satu atau lebih layer data raster. Operasi unary berlaku untuk satu layer data. Operasi biner berlaku untuk dua layer data, dan operasi tingkat tinggi mungkin melibatkan banyak layer data.

Operasi unary sederhana menerapkan fungsi ke setiap sel dalam layer raster input, dan mencatat nilai yang dihitung ke sel yang sesuai dalam raster output. Gambar a mengilustrasikan perkalian raster dengan skalar (satu angka). Dalam contoh ini raster dikalikan dua. Ini mungkin dilambangkan dengan rumus:

Layer luar = Layer dalam * 2

Setiap nilai sel In_layer dikalikan dengan 2, dan hasilnya ditempatkan di sel yang sesuai di Outlayer. Fungsi unary lainnya diterapkan dengan cara yang sama; misalnya, setiap sel dapat dinaikkan ke eksponen, dibagi dengan angka tetap, atau dikonversi ke nilai absolut.

Operasi biner mirip dengan operasi unary karena melibatkan aplikasi operasi atau fungsi sel demi sel, tetapi mereka menggabungkan data dari dua layer raster. Penambahan dua layer mungkin ditentukan oleh:

Sumlayer = LayerA + LayerB

Gambar b mengilustrasikan operasi penjumlahan raster ini. Setiap nilai di LayerA ditambahkan ke nilai yang ditemukan di sel yang sesuai di LayerB. Nilai-nilai ini kemudian ditempatkan di sel raster Sumlayer yang sesuai. Penambahan sel demi sel diterapkan untuk area yang dicakup oleh LayerA dan LayerB, dan hasilnya ditempatkan di Sumlayer.

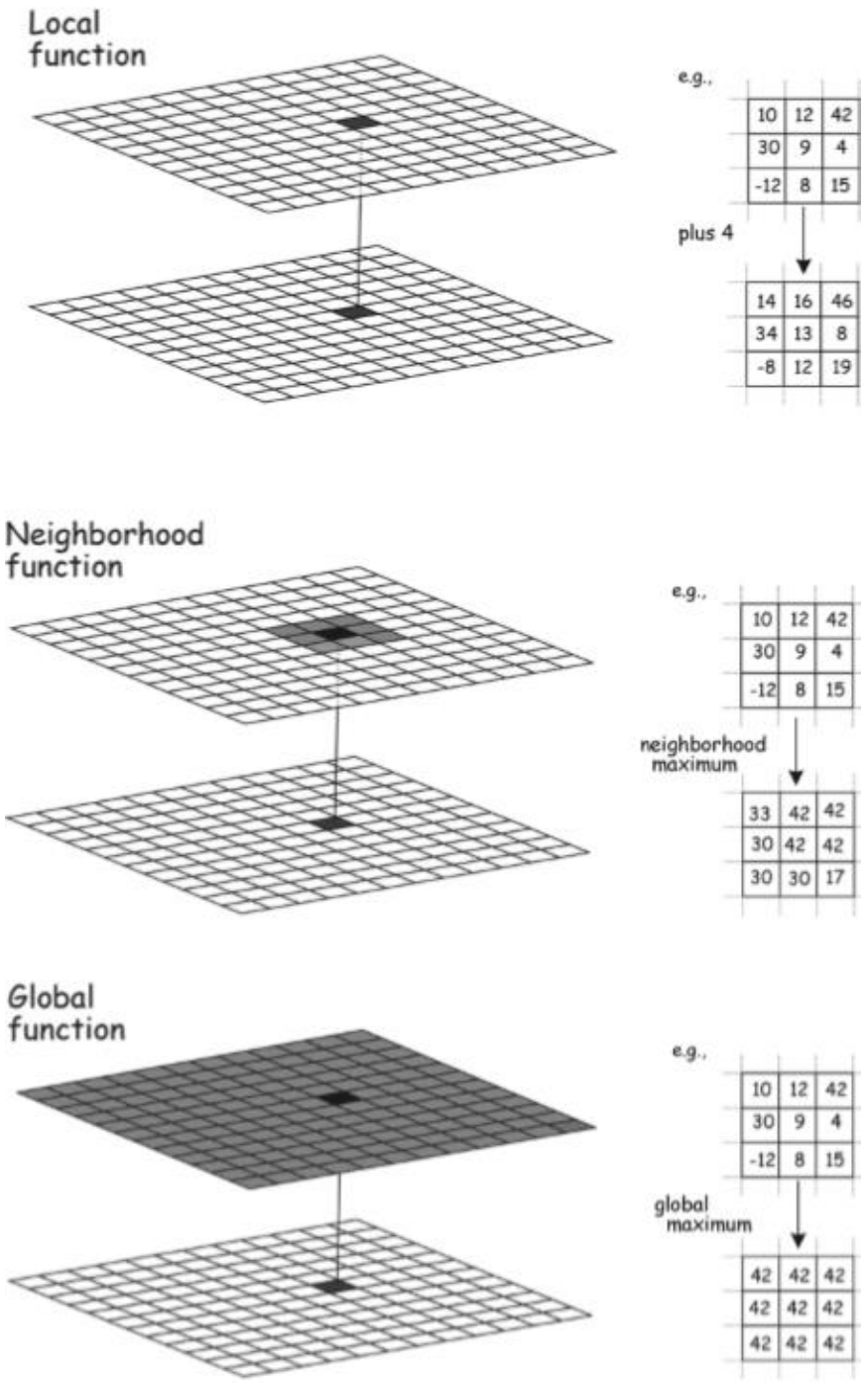
Perhatikan bahwa dalam contoh kita LayerA dan LayerB memiliki tingkat yang sama – mereka mencakup area yang sama. Ini mungkin tidak selalu benar.

Ketika luas layer berbeda, sebagian besar perangkat lunak GIS akan membatasi operasi ke area di mana layer input tumpang tindih. Nomor null atau "data yang hilang" biasanya diberikan ke sel yang kekurangan data input. Nomor ini bertindak sebagai bendera, menunjukkan tidak ada hasil. Seringkali angka, seperti -9999, yang tidak akan muncul dari operasi, tetapi placeholder apa pun dapat digunakan selama perangkat lunak dan pengguna memahami bahwa placeholder menunjukkan tidak ada data yang valid.

Ukuran sel raster yang tidak kompatibel menyebabkan ambiguitas ketika layer raster digabungkan. Masalah ini telah dijelaskan secara singkat di bab sebelumnya, dan diilustrasikan dengan contoh tambahan di sini. Pertimbangkan sel A pada gambar ketika Layer1 dan Layer2 digabungkan dalam operasi raster. Beberapa sel di Layer2 sesuai dengan sel A di Layer1. Jika dua layer ini ditambahkan, kemungkinan ada beberapa nilai input yang berbeda untuk Layer2 yang sesuai dengan satu nilai input untuk Layer1. Masalahnya diperparah di sel B, karena sebagian sel tidak ditentukan untuk Layer2. Itu jatuh di luar batas layer. Nilai Layer2 mana yang harus digunakan dalam operasi raster? Apakah yang terbaik untuk memilih hanya nilai di Layer2 dari sel dengan tumpang tindih lengkap, atau menggunakan nomor median, jumlah sel rata-rata, atau rata-rata tertimbang? Ambiguitas ini akan muncul setiap kali kumpulan data

raster tidak selaras atau memiliki ukuran sel yang tidak kompatibel. Sementara perangkat lunak GIS mungkin memiliki metode default untuk memilih input "terbaik" ketika sel berukuran berbeda atau tidak sejajar, keputusan ini paling baik dikendalikan oleh analis manusia sebelum penerapan operasi raster. Analis dapat mengambil sampel ulang data ke dalam sistem koordinat yang kompatibel, menggunakan metode transformasi dan pengambilan sampel ulang.

Seperti halnya operasi vektor, operasi raster dapat dikategorikan sebagai lokal, lingkungan, atau global. Operasi lokal hanya menggunakan data dalam satu sel untuk menghitung nilai output. Operasi lingkungan menggunakan data dari sekumpulan sel, dan operasi global menggunakan semua data dari layer data raster.



Gambar 10.2 : Operasi raster mungkin lokal, lingkungan, atau global. Sel target ditampilkan dalam warna hitam, dan sel sumber yang berkontribusi pada nilai sel target dalam output ditampilkan dalam warna abu-abu. Operasi lokal menunjukkan korespondensi sel-ke-sel antara input dan output. Operasi lingkungan mencakup sekelompok sel terdekat sebagai masukan. Operasi global menggunakan semua sel di lapisan input untuk menentukan nilai di lapisan output.

Konsep operasi lokal dan lingkungan lebih seragam ditentukan dengan data raster dibandingkan dengan data vektor. Sel dalam layer memiliki ukuran yang seragam, sehingga operasi lokal memiliki area input yang seragam. Sebaliknya, area vektor yang diwakili oleh poligon mungkin memiliki area yang sangat berbeda. Batas poligon tidak beraturan mencakup area yang berbeda dan memiliki tapak yang berbeda; misalnya, area lokal yang ditentukan oleh Alaska berbeda dari area lokal yang ditentukan oleh Rhode Island. Operasi lokal dalam raster tertentu adalah seragam karena menentukan ukuran dan dimensi sel tertentu.

Operasi lingkungan di set data raster juga lebih seragam didefinisikan daripada di set data vektor. Sebuah lingkungan dapat didefinisikan oleh sejumlah sel tetap dalam pengaturan tertentu; misalnya, lingkungan dapat didefinisikan sebagai sel ditambah delapan sel di sekitarnya. Lingkungan ini memiliki area dan dimensi yang seragam untuk sebagian besar raster, dengan beberapa penyesuaian kecil yang diperlukan di dekat tepi layer data raster. Lingkungan vektor mungkin bergantung tidak hanya pada bentuk dan ukuran fitur target, tetapi juga pada bentuk dan ukuran fitur vektor yang berdekatan.

Operasi global dalam Algebra dapat menghasilkan output yang seragam, atau dapat menghasilkan nilai yang berbeda untuk setiap sel raster. Operasi global yang mengembalikan nilai seragam pada dasarnya mengembalikan satu nomor yang ditempatkan di setiap sel dari layer output. Misalnya, fungsi maksimum global untuk sebuah layer dapat ditentukan sebagai:

Out_num = globalmax(In_layer)

Ini akan menetapkan nilai tunggal ke Out_num. Nilainya akan menjadi angka terbesar yang ditemukan saat mencari semua sel In_layer. Data “runtuh” dari raster dua dimensi ini dapat mereduksi Algebra menjadi aljabar skalar. Banyak fungsi lain mengembalikan nilai global tunggal yang ditempatkan di setiap sel untuk layer, misalnya, rata-rata global, maksimum, atau minimum. Operasi global terkadang cukup berguna. Pertimbangkan analisis suhu regional. Kami mungkin ingin mengidentifikasi area di mana suhu maksimum harian lebih hangat tahun ini daripada suhu regional tertinggi yang pernah tercatat. Analisis ini mungkin membantu kita untuk mengidentifikasi sejauh mana tren pemanasan. Kami pertama-tama akan menerapkan fungsi maksimum untuk semua catatan cuaca tahunan sebelumnya. Ini akan memberikan nilai skalar, angka tunggal yang mewakili suhu maksimum regional. Kami kemudian akan membandingkan kumpulan data raster dari suhu maksimum untuk setiap hari di tahun berjalan dengan skalar "tertinggi yang pernah ada". Jika nilai untuk satu hari lebih tinggi dari maksimum regional, kami akan menampilkan bendera ke lokasi sel. Jika tidak, kami akan menampilkan nilai yang berbeda. Hasil akhir raster akan memberikan peta sel yang melebihi maksimum regional sebelumnya. Di sini kita menggunakan operasi global terlebih dahulu untuk membuat nilai skalar tunggal kita (suhu regional tertinggi). Skalar ini kemudian digunakan dalam operasi selanjutnya yang menghasilkan layer data raster

10.3 Fungsi Lokal

Ada sejumlah besar fungsi lokal (atau operasi) yang dapat dengan mudah ditempatkan di salah satu dari empat kelas: fungsi matematika, operasi Boolean atau logika, klasifikasi ulang, dan overlay multilayer.

10.3.1 Fungsi Matematika

Kami dapat menghasilkan layer data baru dengan menerapkan fungsi matematika pada basis sel demi sel ke layer input. Sebagian besar fungsi menggunakan satu layer input dan membuat satu layer output, tetapi sejumlah input dan output dapat didukung, tergantung pada fungsinya.

Sebuah array yang luas dari fungsi matematika dapat digunakan, hanya dibatasi oleh kendala dari model data raster. Nilai dan tipe data raster mungkin merupakan kendala yang paling umum.

Sebagian besar model raster menyimpan satu nilai data dalam sel. Setiap kumpulan data raster memiliki tipe data dan ukuran maksimum yang berlaku untuk setiap sel; misalnya, bilangan bulat bertanda dua byte dapat disimpan. Operasi matematika yang membuat nilai bukan bilangan bulat, atau nilai yang lebih besar dari 32,768 (kapasitas bilangan bulat dua byte), tidak dapat disimpan secara akurat dalam layer output bilangan bulat dua byte. Sebagian besar sistem akan melakukan beberapa bentuk konversi tipe otomatis, tetapi sering kali ada batasan pada nilai terbesar yang dapat disimpan, bahkan dengan konversi otomatis. Sebagian besar paket GIS raster mendukung rangkaian dasar fungsi matematika.

Tabel 10.1 Fungi umul matematika lokal

Fungsi	**Deskripsi**
Menambah, mengurangi, mengalikan, dan membagi.	Kombinasi cell-by-cell dengan operasi aritmatik
ABS	Nilai absolut pada setiap cell
EXP, EXP10, LN, LN10	Menerapkan basis e dan basis 10 eksponensial dan logaritma
SIN, COS, TAN, ASIN, ACOS, ATAN	Terapkan fungsi trigonometri berdasarkan sel per sel
INT, TRUNC	Memotong nilai sel, menghasilkan bagian bilangan bulat.
MODULUS	Menetapkan bagian desimal dari setiap sel
ROUND	Membulatkan nilai sel ke atas atau ke bawah ke nilai integer terdekat nearest
SQRT, ROOT	Menghitung akar kuadrat atau menentukan akar lain dari setiap nilai sel
POWER	Meningkatkan setiap sel ke kekuatan yang ditentukan

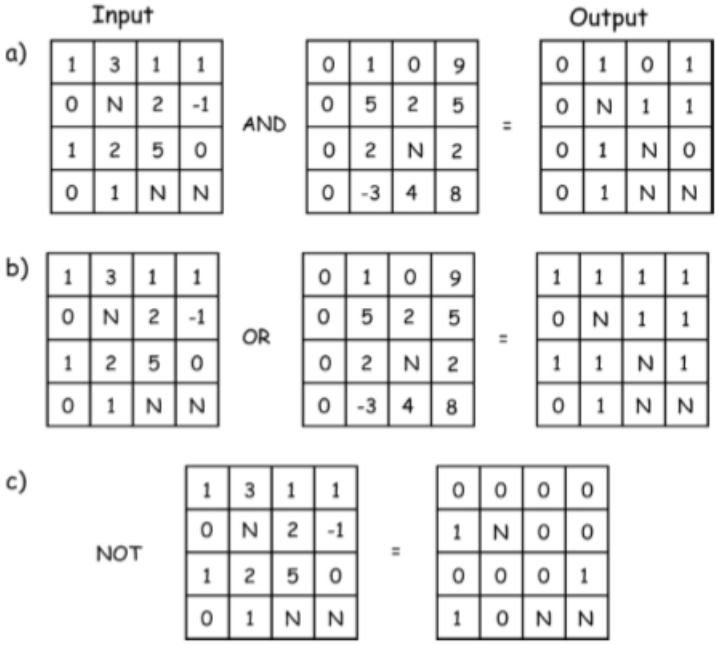
Meskipun himpunan fungsi dan nama fungsi berbeda di antara paket perangkat lunak, hampir semua paket mendukung operasi aritmatika dasar penjumlahan melalui pembagian, dan sebagian besar menyediakan fungsi trigonometri dan kebalikannya (mis., sin, asin). Fungsi

pemotongan, daya, dan modulus juga umumnya didukung, dan vendor sering menyertakan fungsi tambahan yang mereka anggap menarik.

Fungsi matematika ini sering diterapkan dalam analisis raster, misalnya, ketika mengalikan setiap sel dengan 3,28 untuk mengubah nilai tinggi dari satuan dalam meter ke satuan yang diukur dalam kaki.

Perhatikan bahwa meskipun banyak sistem akan membiarkan Anda melakukan operasi ini pada semua jenis data raster, mereka sering kali hanya masuk akal untuk data interval/rasio, dan dapat mengembalikan hasil yang salah bila diterapkan pada data nominal atau ordinal. Angka-angka dapat diberikan untuk menunjukkan kepadatan penduduk menurut tinggi, sedang, dan rendah, dan sementara fungsi sin dapat diterapkan pada data ini, hasilnya biasanya akan memiliki sedikit arti.

10.3.2 Operasi Logika



Gambar 10.3: Contoh operasi logika yang diterapkan pada data raster. Operasi menempatkan nilai benar (bukan nol) atau salah (0) tergantung pada nilai input. AND membutuhkan kedua sel input yang sesuai menjadi true untuk output yang benar, OR memberikan true jika salah satu input benar, dan NOT hanya membalikkan nilai true dan false. Sel kosong atau tidak ditetapkan dilambangkan dengan N.

Ada banyak fungsi lokal yang menerapkan operasi logika (juga dikenal sebagai Boolean) pada data raster. Operasi logis biasanya melibatkan perbandingan sel dengan nilai skalar atau kumpulan nilai dan menghasilkan nilai "benar" atau "salah". Benar sering diwakili oleh nilai output 1, dan salah dengan nilai output 0.

Ada tiga operasi logika dasar, AND, OR, dan NOT Operasi AND dan OR membutuhkan dua layer input. Layer ini berfungsi sebagai dasar untuk perbandingan dan penugasan. AND membutuhkan kedua nilai input true untuk penugasan output true. Biasanya, setiap nilai bukan nol dianggap benar, dan nol salah. Catatan di Gambar a bahwa nilai output biasanya

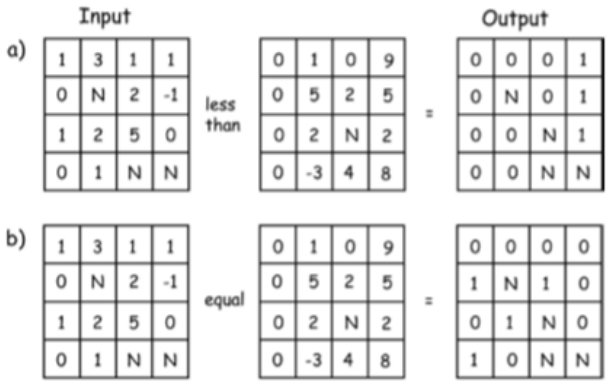
dibatasi pada 1 dan 0, meskipun mungkin ada kisaran nilai masukan. Perhatikan juga bahwa mungkin ada sel di mana tidak ada data yang direkam. Bagaimana ini ditugaskan tergantung pada sistem GIS tertentu. Sebagian besar sistem menetapkan output nol ketika masukan apa pun adalah nol; yang lain memberikan nilai palsu ketika input apa pun adalah nol. Gambar 10-4b menunjukkan contoh operasi OR. Perbandingan sel demi sel ini menetapkan true ke output jika salah satu dari sel input yang sesuai benar. Perhatikan bahwa sel di salah satu layer atau kedua layer mungkin benar untuk penetapan yang benar, dan dalam contoh ini, nilai nol (N) ditetapkan ketika salah satu inputnya nol. Beberapa implementasi menetapkan nilai sebenarnya ke sel output jika salah satu inputnya bukan nol dan bukan nol; pembaca harus membaca manual untuk perangkat lunak khusus yang mereka gunakan.

Gambar c menunjukkan contoh operasi NOT. Operasi ini mengubah true untuk false, dan false untuk true. Perhatikan bahwa input nol memberikan output nol.

Terakhir, perhatikan bahwa banyak sistem menyediakan operasi XOR, yang dikenal sebagai OR eksklusif (tidak diilustrasikan dalam contoh kami). Ini mirip dengan operasi OR, kecuali bahwa nilai sebenarnya diberikan ke output ketika hanya satu atau yang lain dari input yang benar, tetapi tidak ketika kedua input benar. Ini adalah kasus yang lebih restriktif daripada OR umum, dan dapat digunakan dalam kasus ketika kita ingin membedakan antara asal-usul untuk penugasan yang benar.

Operasi logis dapat disediakan yang melakukan perbandingan ordinal atau kesetaraan, atau yang menguji apakah nilai sel adalah nol. Perbandingan ordinal meliputi kurang dari, lebih besar dari, kurang dari atau sama dengan, lebih besar dari atau sama dengan, sama, dan tidak sama. Contoh perbandingan logis ini masing-masing ditunjukkan pada Gambar a dan b. Operasi ini diterapkan sel demi sel, dan output benar atau salah yang sesuai ditetapkan. Seperti ditunjukkan pada Gambar a, sel kiri atas dari layer input pertama tidak kurang dari sel kiri atas dari layer input kedua, sehingga 0 (salah) ditetapkan ke sel kiri atas di layer output. Sel kanan atas di layer pertama lebih kecil dari sel yang sesuai di layer input kedua, menghasilkan penugasan 1 (benar) di layer output.

Kita sering perlu menguji nilai yang hilang atau tidak ditetapkan dalam layer data raster. Operasi tidak memiliki nama standar, dan dapat dipanggil dengan berbagai cara melalui ISMISSING, ISNULL, atau nama deskriptif lainnya. Operasi menguji setiap sel untuk nilai nol, ditunjukkan sebagai N pada Gambar c. Sebuah 0 ditugaskan ke sel output yang sesuai jika nilai nonnull ditemukan, jika tidak, 1 diberikan. Tes untuk nilai yang hilang ini berguna saat mengidentifikasi dan mengganti data yang hilang, atau saat menentukan kecukupan kumpulan data dan mengidentifikasi area yang membutuhkan pengambilan sampel tambahan.



c)

ISNULL

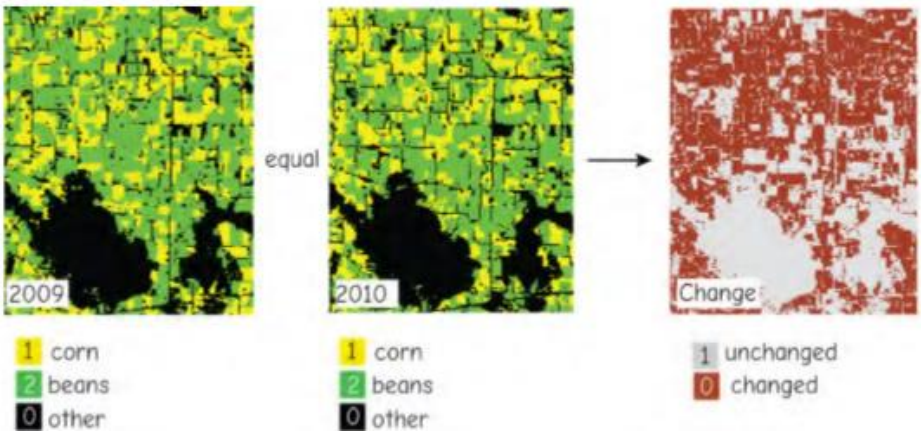
1	3	1	1
0	N	2	-1
1	2	5	0
0	1	N	N

=

0	0	0	0
0	1	0	0
0	0	0	0
0	0	1	1

Gambar 10.4: Contoh operator perbandingan logis untuk kumpulan data raster. Nilai output mencatat perbandingan ordinal untuk input, dengan 1 menandakan benar dan 0 salah. Operasi ISNULL memberikan nilai sebenarnya ke output setiap kali ada data input yang hilang.

Gambar diatas menunjukkan contoh perbandingan logis antara dua layer data. Panel kiri dan tengah menunjukkan tutupan lahan untuk area pertanian, dengan tiga kategori: jagung (1), kedelai (2), dan lainnya (0). Kami mungkin tertarik untuk mengidentifikasi hektar yang dirotasi di antara dua tanaman ini, atau dari dua tanaman ini ke tanaman lain selama periode waktu 20092010. Perbandingan logis yang sama antara layer ini mengungkapkan area yang telah berubah. Jika nilai sel tidak sama sepanjang tahun, perbandingan logis yang sama akan mengembalikan nilai 0, sedangkan area yang tetap sama akan mempertahankan nilai 1. Perbandingan logis lebih lanjut, dengan menggunakan nilai kelas, dapat mengidentifikasi berapa banyak masing-masing sel jenis tanaman komponen telah berubah.



Gambar 10.5 : Contoh operasi logika yang diterapkan pada data kategorikal, di sini kelas penggunaan lahan jagung (nilai = 1), kedelai (2), dan tanaman lainnya (0) selama dua periode waktu. Operasi yang sama mengembalikan 0 di mana penggunaan lahan telah berubah, dan 1 di mana ia tetap konstan selama dua periode ini.

10.3.3 Klasifikasi ulang

Reklasifikasi raster memberikan nilai output yang bergantung pada kumpulan nilai masukan tertentu. Tugas paling sering ditentukan oleh tabel, rentang nilai, atau tes bersyarat.

a)

Input

1	3	1	1
0	N	2	-1
1	2	5	0
0	1	N	N

Reclass by table

in	out
0	a
1	x
2	b
3	f
4	c
5	s

=

Output

x	f	x	x
a	N	b	N
x	b	s	a
a	x	N	N

b)

1	3	1	1
0	N	2	-1
1	2	5	0
0	1	N	N

Reclass by ranges

in range	out
0 to 1.5	a
1.5 to 3.5	b
3.5 to 10	c
N	d

=

a	b	a	a
a	d	b	N
a	b	c	a
a	b	d	d

Gambar 10.6: Reklasifikasi raster dengan pencocokan tabel (a) dan dengan rentang tabel (b). Dalam kedua kasus, nilai sel input dibandingkan dengan kolom "dalam" tabel. Kecocokan ditemukan dan nilai "keluar" yang sesuai ditetapkan.

Reklasifikasi raster oleh tabel didasarkan pada pencocokan nilai sel input ke tabel reklasifikasi (Gambar a). Tabel reklasifikasi menentukan pemetaan antara nilai input dan nilai output. Setiap nilai sel input dibandingkan dengan entri untuk kolom "dalam" dalam tabel. Ketika kecocokan ditemukan, nilai "keluar" yang sesuai diberikan ke layer raster output. Nilai input yang tidak cocok dapat ditangani dengan salah satu dari beberapa cara. Cara yang paling konsisten secara logis adalah dengan menetapkan nilai nol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar a untuk nilai input -1. Beberapa perangkat lunak hanya memberikan nilai sel input ketika tidak ada kecocokan. Seperti semua alat pemrosesan spasial, spesifikasi implementasi harus didokumentasikan dan dipahami.

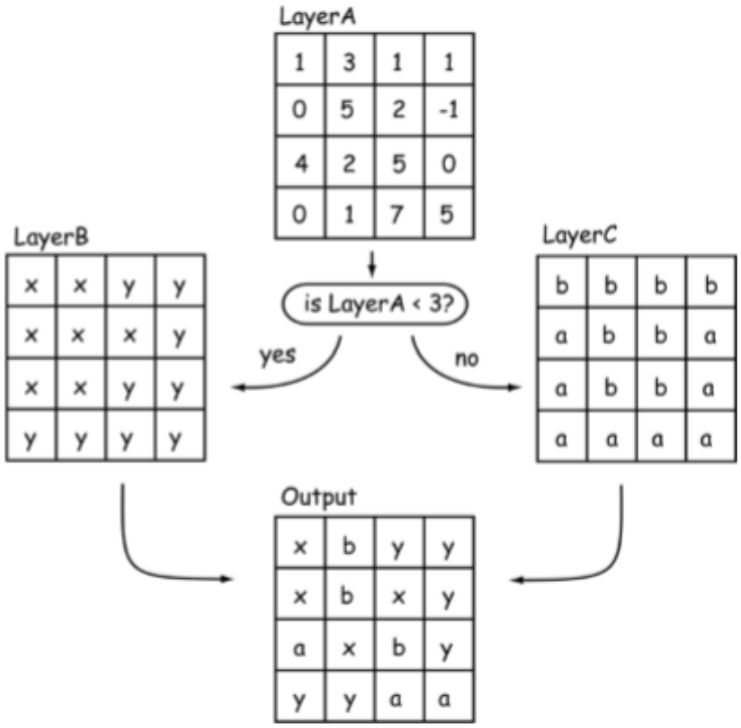
Gambar b mengilustrasikan reklasifikasi dengan rentang nilai. Proses ini mirip dengan reklasifikasi oleh tabel, kecuali bahwa rentang nilai muncul untuk setiap entri dalam tabel reklasifikasi. Setiap rentang sesuai dengan nilai output. Hal ini memungkinkan representasi yang lebih kompak dari reklasifikasi. Reklasifikasi pada rentang juga merupakan cara sederhana untuk menerapkan aturan reklasifikasi interval yag sama, luas yang sama, jeda alami, atau metode pembuatan kelas otomatis lainnya. Metode penetapan otomatis ini sering digunakan untuk kumpulan data raster karena banyaknya nilai yang dikandungnya.

Data juga dapat direklasifikasi untuk memilih sumber input berdasarkan suatu kondisi. Fungsi "bersyarat" ini memiliki sintaks yang bervariasi, tetapi biasanya memerlukan kondisi yang menghasilkan hasil yang benar atau salah. Nilai atau layer sumber yang ditetapkan untuk hasil yang benar ditentukan, seperti nilai atau layer sumber yang ditetapkan untuk hasil yang salah. Contoh dari satu fungsi bersyarat mungkin:

Output = CON (tes, keluar jika benar, keluar jika salah)

dimana CON adalah fungsi kondisional, test adalah kondisi yang akan diuji, out if true mendefinisikan nilai yang ditetapkan jika kondisi menguji true, dan out if false mendefinisikan nilai yang ditetapkan jika kondisi pengujian false. Perhatikan bahwa nilai yang dikeluarkan dapat berupa nilai skalar, misalnya angka 2, atau nilai output dapat berasal dari lokasi yang sesuai dalam layer raster tertentu. Kondisi diterapkan pada basis sel demi sel, dan nilai output ditetapkan berdasarkan hasil uji kondisional.

Output = CON (LayerA <3, Layer B, Layer C)



Gambar 10.7: Reklasifikasi berdasarkan kondisi memberikan output berdasarkan pengujian bersyarat. Dalam contoh ini, setiap sel di LayerA dibandingkan dengan angka 3. Untuk sel Layer A dengan nilai kurang dari 3, kondisi dievaluasi ke true, dan nilai sel output ditetapkan dari LayerB. Jika nilai sel LayerA sama dengan atau lebih besar dari 3, maka nilai sel keluaran ditetapkan dari LayerC.

10.3.4 Fungsi Nested

Fungsi lokal mungkin Nested dalam analisis. Fungsi Nested ketika suatu fungsi digunakan sebagai argumen dari fungsi lain. Sebagai contoh, kita mungkin ingin mengambil logaritma natural (LN) dari semua sel dalam sebuah layer. Fungsi LN matematika hanya didefinisikan untuk nilai positif. Ketika input negatif, kita perlu menerima nilai null di layer data output, atau memproses sel input ini dengan cara yang berbeda. Kita bisa melakukan ini dengan menerapkan fungsi nilai absolut (ABS) untuk membuat output antara. Kami kemudian dapat menerapkan fungsi LN ke output ini untuk hasil akhir kami. Ini dapat digambarkan sebagai rumus:

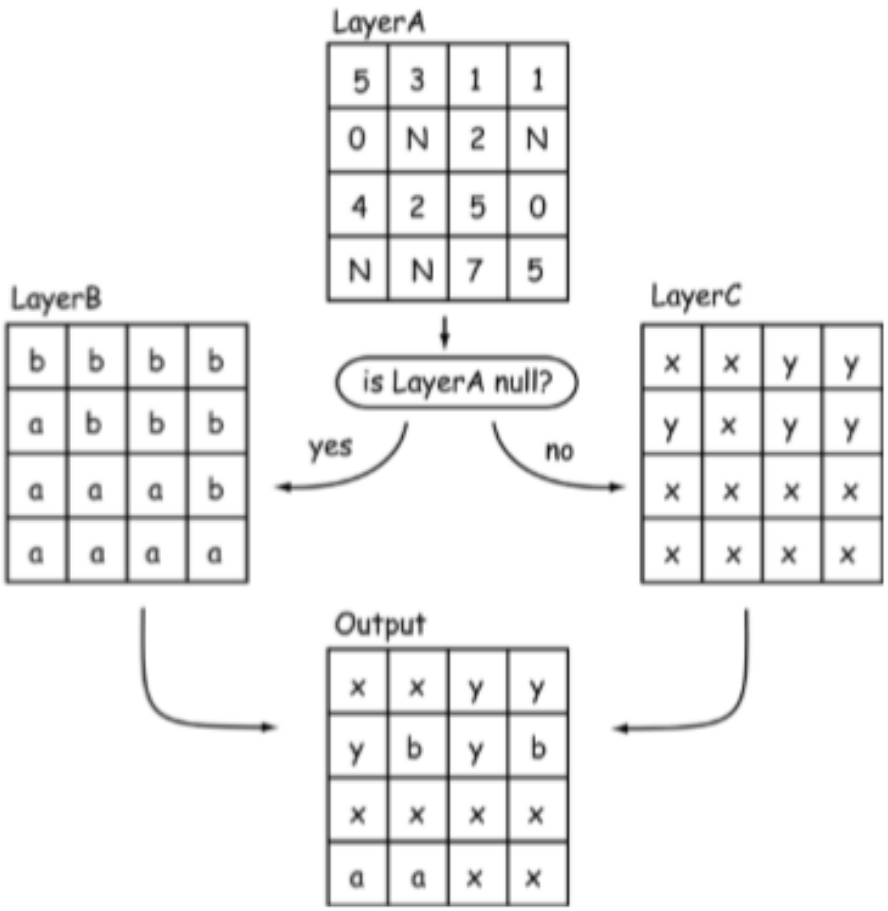
InitOutput = ABS (Input_Layer)

FinalOutput = LN (InitOutput).

Kita dapat melakukan hal yang sama dengan menyarangkan fungsi, jika diizinkan oleh perangkat lunak GIS:

FinalOutput = LN (ABS (Input_Layer))

Output = CON (ISNULL(LayerA), LayerB, LayerC))

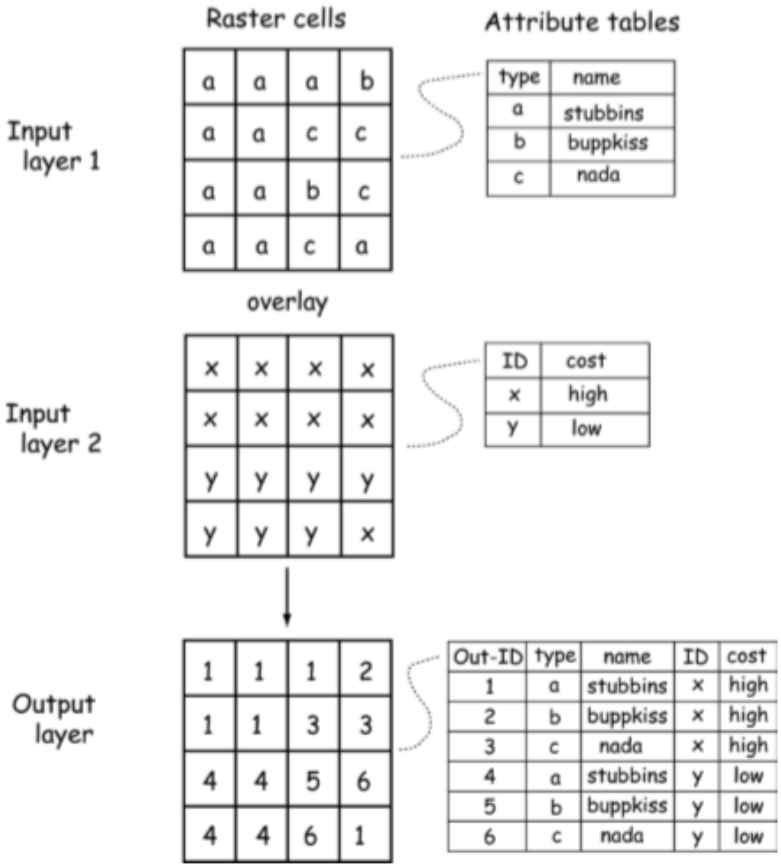


Gambar 10.8: Operasi logika lokal dapat digabungkan. Contoh ini menunjukkan fungsi ISNULL yang disematkan dalam fungsi kondisional, CON. Seperti yang dijelaskan pada Gambar 10-7, argumen pertama dalam fungsi CON ini mendefinisikan pengujian Boolean. Di sini, jika nilai sel di LayerA adalah null (N), maka uji kondisional mengembalikan nilai sebenarnya. Ini mengeksekusi entri berikut, penugasan ke output dari LayerB. Jika sel bukan null, ISNULL mengembalikan nilai false, dan nilai sel Output ditetapkan dari lokasi terkait di LayerC. Perhatikan nilai Output adalah a atau b, dari LayerB, untuk sel di LayerA yang memiliki nilai null (N).

Gambar diatas menunjukkan contoh lain dari fungsi Nested. Nilai output ditetapkan dari dua layer masukan yang berbeda. Nilai sel ditetapkan dari LayerB saat nilai LayerA nol, dan dari LayerC saat nilai LayerA bukan nol. Ini mungkin diinginkan jika kita memiliki kumpulan data yang tidak lengkap tetapi sebaliknya berkualitas tinggi, dan kita ingin mengisi nilai yang hilang dari data terbaik berikutnya yang tersedia. Ekspresi Algebra dengan fungsi Nested bisa menjadi sangat kompleks, tetapi juga mungkin cukup efektif dan efisien dalam memecahkan masalah yang kompleks.

10.3.5 Overlay

Overlay raster menggabungkan fitur dari dua atau lebih layer data, dan merupakan salah satu fungsi spasial yang paling berguna. Fitur dalam data raster sesuai dengan sel, atau mungkin kelompok sel dengan nilai yang sama, tetapi seperti halnya overlay vektor, utilitas besar sering diperoleh dari menggabungkan data dari layer yang berbeda.



Gambar 10.9 : Hamparan raster melibatkan kombinasi data sel demi sel dalam beberapa lapisan. Nilai keluaran baru dihasilkan untuk setiap kombinasi unik dari nilai masukan.

Ada beberapa perbedaan antara raster dan overlay vektor karena perbedaan model data. Overlay raster seringkali terbatas pada data nominal. Nilai sel biasanya tidak mewakili variabel kontinu seperti suhu, melainkan variabel kategoris seperti jenis atau nama kotapraja

Meskipun overlay raster dapat diimplementasikan sehingga menerima angka kontinu, ini biasanya menghasilkan terlalu banyak kombinasi sel unik untuk menjadi bernilai banyak. Jika data kontinu digunakan, mereka sering dikonversi ke kategori terlebih dahulu; misalnya, curah hujan dapat digolongkan ke dalam kelas rendah, sedang, atau tinggi.

Overlay raster melibatkan perbandingan nilai sel demi sel dalam dua atau lebih layer. Nilai di setiap layer data input dikaitkan dengan kombinasi spesifik dari variabel tambahan, dan variabel tambahan ini dapat direkam dalam tabel atribut. Setiap kombinasi unik sel dari dua layer diidentifikasi, dan diberi pengenal baru (Out-ID) di layer Output. Perhatikan dua tabel atribut input digabungkan dengan cara yang sesuai. Pada Gambar dibawah ini Anda dapat melihat sudut kiri atas layer Output memiliki nilai atribut tipe dan nama yang sesuai dari layer Input 1, dan nilai atribut ID dan biaya dari layer Input 2.

Ingatlah bahwa dalam banyak implementasi model data raster terdapat hubungan banyak-ke-satu antara sel raster dan baris atribut. Ini terjadi karena beberapa sel sesuai dengan setiap baris. Perhatikan juga bahwa sel dapat membentuk daerah terpisah dari jenis yang sama; misalnya, Gambar tersebut menunjukkan sel tipe a di sudut kiri bawah layer Input 1 yang tidak

bersebelahan dengan sel a lainnya di Layer 1. Kombinasi ini dibawa ke output, di mana ada kelompok yang terpisah sel dengan nilai OutID 6.

Source

1	3	4	7
6	3	2	-1
1	2	5	0
0	1	3	2

Clip

Template

0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	1	1
0	1	1	0

=

Output

N	N	N	7
N	N	2	-1
N	2	5	0
N	1	3	N

Gambar 10.10: Ilustrasi operasi klip raster (atau ekstraksi). Nilai dari lapisan sumber diekstraksi berdasarkan nilai dalam template ekstraksi. Sel keluaran sering diberi nilai nol, N, di area "luar".

Klip (atau ekstraksi) adalah jenis umum lain dari fungsi raster lokal. Layer data sumber dan template ditentukan dan layer data output dibuat. Layer output ini hanya berisi nilai-nilai sumber yang ditunjukkan oleh layer template. Sifat dari template dan nilai-nilai layer data output bergantung pada implementasi spesifik dari ekstraksi raster. Nilai templat biasanya diberi nilai 1 untuk sel-sel yang akan diteruskan ke output, dan nilai 0 atau nol untuk sel-sel yang diabaikan. Nilai output untuk area yang terpotong disalin dari sumber, sedangkan nilai output untuk area di luar area yang terpotong biasanya diberi nilai nol, atau nilai 0.

Perawatan harus dilakukan untuk memastikan tidak ada sel ambigu yang dibuat oleh konvensi ini. Misalnya, jika ada nilai nol di layer data sumber dan area di luar klip, seseorang tidak dapat memastikan apakah nol berasal dari sumber atau menunjukkan wilayah di luar area klip. Pengkodean khusus atau ketentuan lain dapat digunakan untuk menghindari ambiguitas ini.

Fungsi overlay pada Algebra dapat dibuat melalui fungsi penjumlahan dan perkalian. Operasi gabungan dapat dilakukan dengan penambahan layer, dan operasi klip melalui perkalian. Kedua operasi aljabar raster ini dapat digunakan untuk menggabungkan layer data raster dalam beberapa cara, bahkan jika implementasi perangkat lunak spesifik dari GIS raster tidak menyediakan fungsi overlay eksplisit atau khusus.

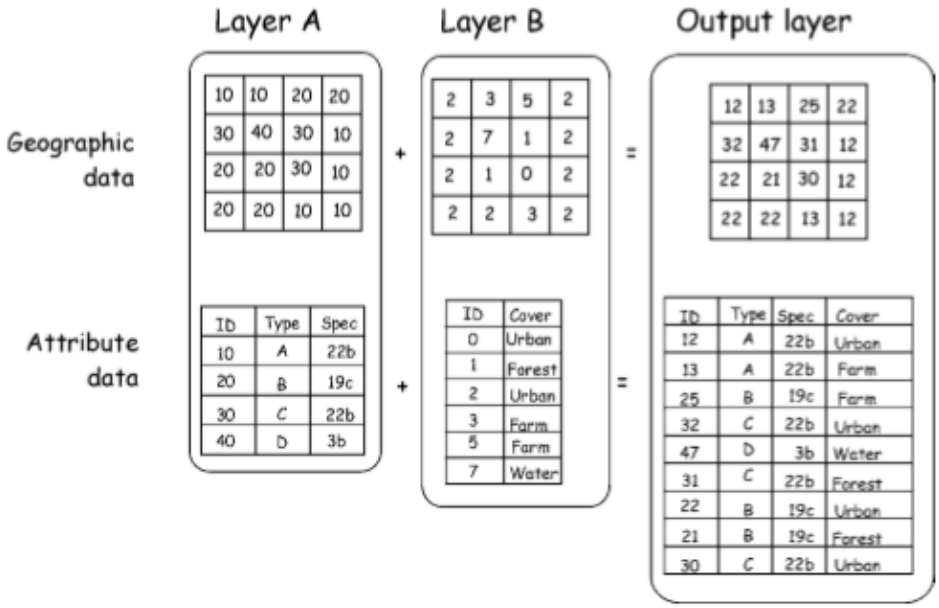
Penyatuan dua layer data raster dapat dilakukan melalui penambahan. Ketika dua layer ditambahkan, nilai ditambahkan berdasarkan sel per sel dan hasilnya ditempatkan di lokasi sel yang sesuai untuk layer data output. Setiap nilai output dapat digunakan untuk mengidentifikasi kombinasi nilai masukan.

Gambar 1 menunjukkan overlay dua layer data melalui penambahan raster. Sel di Layer A memiliki nilai 10 sampai 40, dan sel di Layer B memiliki nilai 1 sampai 7. Ini mungkin sesuai dengan empat jenis spesies yang berbeda di Layer A dan enam jenis penggunaan lahan yang berbeda di Layer B. Layer data digabungkan pada sel demi sel - dasar sel, sehingga setiap nilai sel di Layer A ditambahkan ke nilai sel yang sesuai di Layer B. Di sel sudut kanan atas, nilai 20 dari Layer A ditambahkan ke 2 di Layer B, dan nilai yang dihasilkan 22 ditempatkan di layer Output. Penambahan sel dari dua layer ini akan menghasilkan serangkaian angka antara 12 dan 47. Angka-angka ini sesuai dengan berbagai kombinasi spesies dan penggunaan lahan.

Data atribut dapat dicocokkan dengan tabel atribut yang sesuai. Setiap nilai unik di layer data input diidentifikasi dan dikaitkan dengan kombinasi yang sesuai di layer data output.

Penetapan atribut diilustrasikan pada Gambar 1. Sel di Layer A dengan nilai ID 10 dikaitkan dengan Type = A dan Spec = 22b. Setiap sel di layer Output yang menunjukkan ID = 10 untuk Input Layer A memiliki Type = A dan Spec = 22b di sel output yang sesuai.

Perhatikan bahwa nilai yang identik mungkin terputus-putus di layer data output. Nilai ID dari 12 ditemukan dalam dua set terpisah pada Gambar 10-12, satu di sudut kiri atas dan satu di sudut kanan bawah tabel output. Sel-sel ini dengan ID=12 semuanya dirujuk oleh entri yang sama di tabel atribut. Hubungan banyak-ke-satu ini mungkin cukup sering terjadi; misalnya, itu juga ada untuk ID=22 di layer Output.

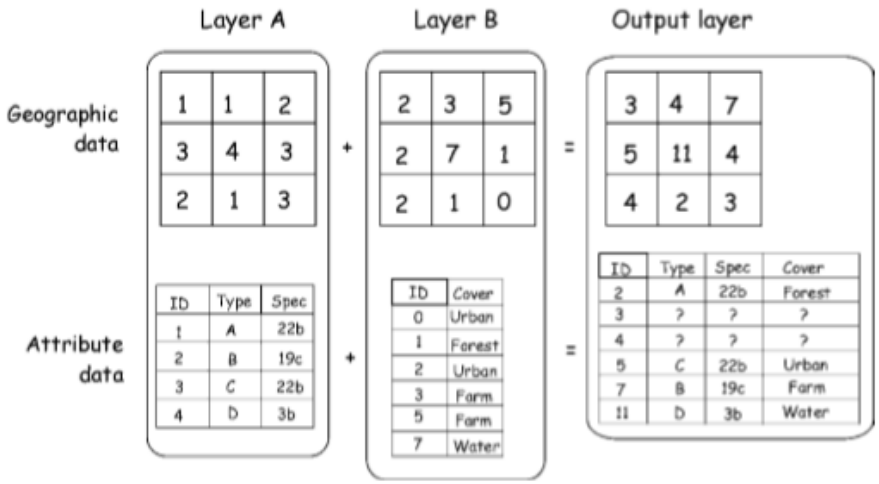


Gambar 10.11 : Overlay melalui penambahan raster. Nilai sel di Layer A dan Layer B ditambahkan untuk menghasilkan nilai di layer Output. Nilai atribut yang terkait dengan setiap lapisan input dapat digabungkan dalam tabel terkait.

Kumpulan data raster seringkali tidak secara unik mengidentifikasi area yang terpisah tetapi sebaliknya identik karena batasan ukuran tabel atribut. Kumpulan data raster sering kali memiliki ribuan hingga jutaan lokasi sel yang unik. Area rata-rata dari sel yang berdekatan dan identik biasanya berkurang ketika layer data digabungkan melalui overlay raster. Seringkali ada banyak area kecil yang memiliki kombinasi nilai input yang sama, tetapi terpisah dari sel lain dengan nilai yang sama. Jika setiap kelompok sel diberi pengidentifikasi unik, tabel atribut dapat tumbuh menjadi cukup besar. Kumpulan data besar menjadi tidak terlalu menjadi kendala karena daya komputasi dan ruang meningkat, tetapi banyak paket perangkat lunak secara default menerapkan hubungan satu-ke-banyak. Ini kontras dengan pendekatan umum yang diterapkan oleh paket perangkat lunak overlay vektor, yang biasanya mengidentifikasi setiap poligon secara unik, apakah ada poligon lain dengan kumpulan nilai atribut yang identik atau tidak. Pengguna GIS perlu memahami konvensi output untuk perangkat lunak tertentu sehingga output dari operasi overlay dapat diinterpretasikan dan diterapkan dengan benar.

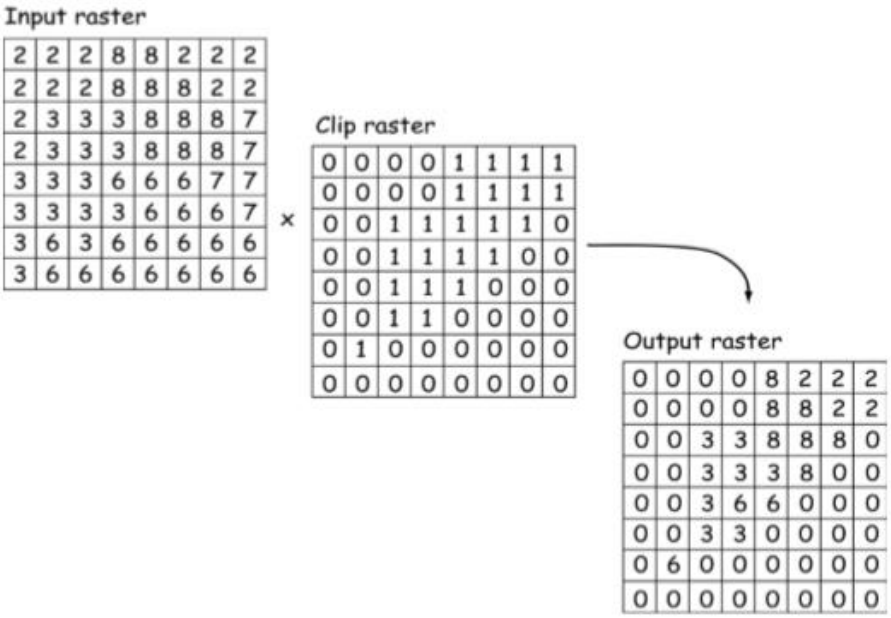
Penambahan raster dapat digunakan untuk meniru overlay raster. Namun, perhatian harus diberikan untuk menghindari kombinasi ambigu saat menggunakan penambahan layer raster untuk overlay. Angka output yang berasal dari dua kombinasi yang berbeda harus dihindari, karena mewakili hasil yang ambigu. Perhatikan contoh yang ditunjukkan pada Gambar A. Dua

layer data dilapis melalui penambahan. Nilai 4 dapat terjadi di layer output dari beberapa kombinasi: 2 di Layer A dan 2 di Layer B, atau 1 di Layer A dan 3 di Layer B. Ada masalah serupa untuk nilai output sama dengan 3, jadi hasil kami adalah ambigu. Kita harus memastikan hal ini tidak terjadi. Kami biasanya melakukan ini dengan mengklasifikasi ulang layer data. Sebagai contoh, kita dapat mengalikan Layer A dengan 10, sehingga memberikan nilai 10, 20, 30, dan 40. Nilai output kemudian akan mengidentifikasi kombinasi input secara unik.



Gambar A : Penambahan raster akan menghasilkan keluaran yang ambigu ketika kombinasi masukan yang berbeda menghasilkan kombinasi keluaran yang identik (tipe, spesifikasi, dan penutup yang tidak diketahui pada lapisan keluaran). Lapisan input dapat diklasifikasikan atau dinomori ulang untuk memastikan kombinasi output yang unik.

Klip yang menggunakan data raster dapat diimplementasikan sebagai klasifikasi ulang dan kemudian perkalian. Perhatikan bahwa kami menggambarkan fungsi klip vektor sebagai kasus khusus overlay di mana atribut dan geometri interior disimpan berdasarkan batas-batas dalam layer kliping. Layer kliping ini berfungsi sebagai kerangka atau templat area tempat data disimpan. Dalam klip raster, layer kliping dapat direpresentasikan sebagai satu set sel dengan nilai 1 tertanam dalam sel nonkliping dengan nilai 0.



Gambar 10.12: Operasi klip raster dapat dilakukan melalui perkalian topeng biner. Sebuah raster input (kiri) telah dikalikan dengan raster biner. Perkalian sel demi sel melewati setiap sel input yang sesuai dengan 1 di raster klip (tengah), dan melewati 0 untuk semua sel lain ke raster output (kanan). Perhatikan bahwa nilai nol tidak diperbolehkan dalam raster input karena memiliki efek yang sama dengan nol pada raster klip.

Gambar diatas mengilustrasikan operasi klip raster yang merupakan kombinasi dari reklasifikasi dan perkalian sel. Langkah pertama adalah mengidentifikasi kumpulan nilai yang mendefinisikan area klip. Ini adalah bagian dari layer data input yang akan ditransfer ke layer data output. Nilai sel individu atau nilai sel selama interval atau rentang dapat ditentukan. Ini mungkin berasal dari pilihan berdasarkan nilai raster, dari daftar nilai, atau dari operasi spasial sebelumnya seperti buffer.

Template klip dibuat yang mendefinisikan topeng biner, satu set sel yang "menutupi" sebagian dari layer input. Sel yang akan dilewatkan ke layer output diatur ke nilai 1. Sel yang akan "dipotong"

away" disetel ke nilai 0. Template klip atau layer kemudian dikalikan dengan raster input, menghasilkan raster output. Perkalian sel demi sel dengan 1 melewati nilai ke layer output. Perkalian dengan 0 membuang nilai untuk sel, menghasilkan raster terpotong ke area yang diinginkan.

10.3.6 Gabungan Spasial Secara Umum

Istilah "penggabungan spasial" telah diciptakan untuk menggambarkan overlay dan proses yang serupa. Pada dasarnya, penggabungan spasial menjelaskan mengenai dua atau lebih kumpulan data spasial, masing-masing dengan tabel atribut terkait, dan membuat kumpulan data lain. Baik (geo)grafik dan tabel atribut di set baru yang berbeda dari set data asal.

Anda akan menemukan alat untuk melakukan ini di ArcToolbox: Analysis Tools (digunakan untuk bekerja dengan kelas fitur secara umum).

Gabungan menggabungkan kelas fitur sedemikian rupa sehingga tingkat dataset yang diturunkan mencakup luasan dari semua dataset konstituen. Idenya adalah bahwa, dalam penyatuan P dan Q untuk membuat R, katakanlah, wilayah yang dicakup oleh R adalah wilayah yang dicakup oleh P dan juga oleh Q, termasuk wilayah yang tumpang tindih. Dalam logika, gabungan dua himpunan (A dan B) adalah himpunan semua objek di A atau B atau keduanya. Jika A adalah semua tupai merah dan B adalah semua tupai dengan ekor berbulu halus, maka A gabung B adalah himpunan semua tupai yang berwarna merah atau memiliki ekor berbulu halus atau keduanya. Gabungan setara dengan logika inklusif OR. (Logika eksklusif OR—XOR—akan terdiri dari tupai yang berwarna merah atau memiliki ekor berbulu halus, tetapi bukan yang berwarna merah dan juga memiliki ekor yang berbulu halus.)

Intersect menggabungkan kelas fitur sedemikian rupa sehingga tingkat dataset yang diturunkan hanya mencakup area yang tumpang tindih dari kumpulan data konstituen. Idenya di sini adalah bahwa, di persimpangan S dan T untuk membuat U, katakanlah, wilayah yang dicakup oleh U hanya wilayah yang dicakup oleh S yang juga dicakup oleh T. Secara logika, perpotongan dua himpunan (A dan B) adalah himpunan semua objek yang berada di A dan B. Jika A semua tupai merah dan B semua tupai berekor halus, maka A berpotongan B adalah himpunan semua tupai merah dan juga berekor halus. Intersect ini setara dengan logika AND.

Sejumlah alat penggabungan spasial lainnya tersedia di alat:

- Identity/Identitas
- Erase/Hapus
- Update
- Clip/Klip
- Split/Bagi
- Selisih Simetris (penggabungan dengan perpotongan dihilangkan)

Selanjutnya, beberapa alat ini tidak terbatas pada poligon. Misalnya, Anda dapat menggunakan intersect untuk menentukan, dari dua kelas fitur yang terdiri dari titik, titik mana yang bertepatan (atau terletak dalam jarak tertentu satu sama lain). Hal yang sama dapat terjadi dengan dua set garis. Atau untuk menemukan titik-titik yang memotong garis.

Anda akan bekerja dengan beberapa hal itu di bagian Langkah-demi-Langkah dari bab ini. Sekarang kita beralih ke apa yang dapat Anda lakukan setelah Anda menerapkan buffer dan penggabungan spasial.

10.3.7 Menurunkan Kelas Fitur dengan Memilih Atribut: Ekstraksi

Anda mungkin telah mem-buffer beberapa titik, garis, dan poligon, dan menghasilkan kelas fitur. Anda telah melapisi buffer ini pada beberapa kelas fitur poligon lainnya. Apa yang Anda miliki sekarang adalah kelas fitur yang memiliki puluhan, ratusan, bahkan mungkin ribuan poligon. Kelas fitur itu juga memiliki tabel atribut dengan daftar bidang sepanjang lengan Anda, karena terdiri dari hampir semua atribut tabel konstituen. Sekarang saatnya membuat kelas fitur yang hanya terdiri dari poligon yang memenuhi kebutuhan Anda. Caranya dengan menulis query yang akan diproses oleh Select tool, di dalam Extract tool chest. Selection By Attributes bukanlah hal baru bagi Anda. Perbedaannya di sini adalah Anda akan membuat kelas fitur geodatabase atau shapefile yang sepenuhnya baru berdasarkan fitur dan record yang telah ditentukan.

Mari kita asumsikan bahwa Anda mencoba menemukan poligon yang sesuai untuk masalah Wildcat Boat. Tidak harus ketat, pertimbangkan kueri seperti yang berikut, buatlah tabel komposit yang mencakup penggunaan lahan, kesesuaian tanah, buffer saluran pembuangan, dan buffer aliran. Anda dapat menggunakan Extract untuk membuat kelas fitur poligon di mana:

```
LANDUSE = "Brushland"
AND
SOIL_SUITABILITY = "Fair" OR SOIL_SUITABILITY = "Good"
AND
DISTANCE_TO_SEWERS <= 300
AND
DISTANCE_FROM_STREAMS > 20
```

Singkatnya, kemudian, EXTRACT Wizard menghasilkan kelas fitur Y dari kelas fitur X, dengan mengekstrak fitur berdasarkan nilai atributnya. EXTRACT bekerja sangat mirip dengan membuat kueri untuk memilih catatan dalam tabel (mis., AREA >= 500 AND COLOR = 'Green').

Namun, alih-alih hanya menyorot catatan dalam tabel (dan fitur yang terkait di peta), EXTRACT dapat membuat kumpulan data (Y) yang sama sekali baru yang terdiri dari catatan yang dipilih.

Cara menggunakan EXTRACT adalah, setelah Anda membuat (dengan buffering dan overlay berulang, menggunakan ArcToolbox), kelas fitur (A) yang berisi semua fitur yang dihasilkan oleh proses tersebut, Anda dapat mengekstrak hanya fitur yang memenuhi kriteria Anda, untuk membuat kelas fitur B.

Konsep dalam Ikhtisar ini cukup banyak mencakup jenis analisis data geografis yang dibuat dengan menurunkan kelas fitur dari kelas fitur lainnya. Tentu saja ada banyak perintah manajemen data yang sejalan dengan bentuk analisis ini. Juga, ada beberapa jenis lain dari analisis GIS — geostatistik untuk satu hal, dan jaringan untuk yang lain — yang akan dibahas nanti.

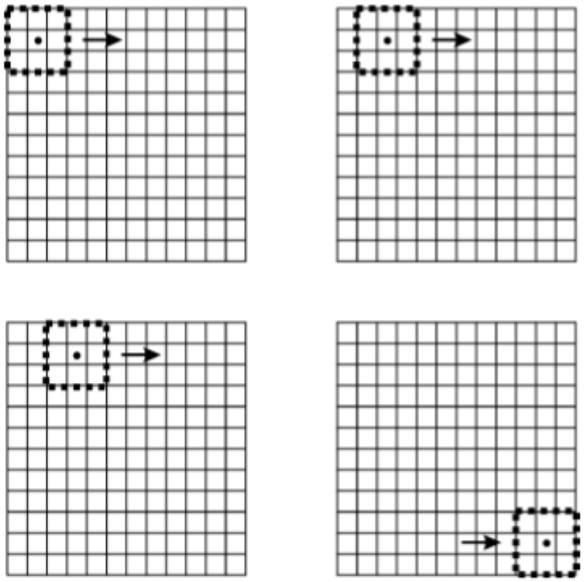
Di bagian Langkah-demi-Langkah berikut, Anda akan menerapkan prinsip dan alat buffer, overlay, dan ekstraksi.

Akhirnya, di bagian Langkah-demi-Langkah dari bab ini, saya memperkenalkan Model Builder, yang merupakan salah satu cara untuk menghubungkan dan mengotomatisasi proses dalam analisis GIS. Dengan membangun model:

- Anda dapat mendokumentasikan alur melalui proses suatu proyek.
- Anda dapat memodifikasi proses tersebut dengan mudah, mengubah proses, mengubah input ke proses, dan sebagainya, dalam grafis yang mudah dipahami.
- Anda dapat meminta komputer mengulangi beberapa atau semua proses dengan cara yang mudah.

10.4 Fungsi Lingkungan, Zona, Jarak, dan Global

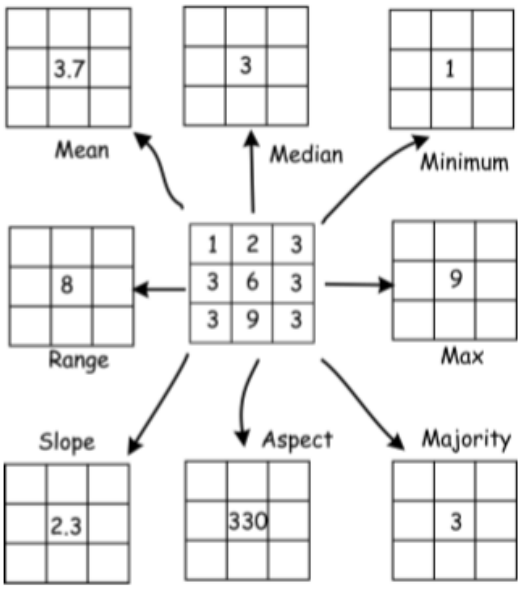
Fungsi lingkungan (atau operasi) dalam analisis raster layak untuk dibahas lebih lanjut karena mereka menawarkan kekuatan dan fleksibilitas analitis yang substansial. Operasi lingkungan diterapkan dalam banyak analisis di berbagai topik, termasuk perhitungan kemiringan, aspek, dan korelasi spasial.



Gambar 10.13 : Konsep jendela bergerak dalam operasi lingkungan raster. Di sini jendela 3 kali 3 disapu dari kiri ke kanan dan dari atas ke bawah melintasi lapisan raster. Jendela di setiap lokasi mendefinisikan sel input yang digunakan dalam operasi raster.

Operasi lingkungan paling sering bergantung pada konsep jendela bergerak. Sebuah "jendela" adalah konfigurasi sel raster yang digunakan untuk menentukan nilai input untuk operasi. Jendela diposisikan pada lokasi tertentu di atas raster input, dan operasi diterapkan yang melibatkan sel-sel yang terkandung dalam jendela. Hasil operasi biasanya dikaitkan dengan sel di tengah posisi jendela. Hasil operasi disimpan ke layer output di lokasi sel tengah. Jendela kemudian "dipindahkan" untuk dipusatkan di atas sel yang berdekatan dan perhitungan diulang. Jendela disapu melintasi layer data raster, biasanya dari kiri ke kanan dalam baris berturut-turut dari atas ke bawah. Di setiap lokasi jendela, fungsi jendela bergerak dihitung dan hasilnya dikeluarkan ke layer data baru. Jendela bergerak sebagian ditentukan oleh dimensinya. Misalnya, jendela bergerak 3 kali 3 memiliki panjang tepi tiga sel dalam arah x dan y, untuk total luas sembilan sel.

Jendela bergerak bisa dalam berbagai ukuran dan bentuk, tetapi biasanya diberi nomor ganjil di kedua arah x dan y untuk menyediakan sel pusat alami, dan biasanya berbentuk persegi. Jendela sel 3 kali 3 adalah ukuran yang paling umum, meskipun jendela juga bisa berbentuk persegi panjang. Windows mungkin juga memiliki bentuk yang tidak beraturan; misalnya, jendela bergerak berbentuk L, melingkar, atau berbentuk baji kadang-kadang ditentukan.



Gambar 10.14 : Lingkungan raster tertentu dapat menentukan input untuk beberapa operasi lingkungan raster. Di sini lingkungan 3 dengan 3 ditentukan. Sembilan sel ini dapat digunakan sebagai input untuk mean, median, minimum, atau sejumlah fungsi lainnya.

Ada banyak fungsi lingkungan yang menggunakan jendela bergerak. Ini termasuk fungsi sederhana seperti mean, maximum, minimum, atau range. Fungsi lingkungan mungkin rumit, misalnya, standar deviasi statistik, dan mereka mungkin nonaritmatika, sebagai fungsi yang mengembalikan hitungan jumlah nilai unik, atau mode, atau kejadian Boolean. Setiap fungsi yang menggabungkan informasi dari kelompok sel raster yang berbentuk konsisten dapat diimplementasikan dengan jendela bergerak.

Fungsi jendela bergerak mungkin aritmatika, penambahan, pengurangan, rata-rata, atau menggabungkan nilai-nilai di sekitar sel pusat secara matematis, atau mereka mungkin komparatif atau mengekstrak nilai dari satu set sel. Operasi statistik umum termasuk menghitung nilai terbesar, modus (puncak histogram), median (nilai tengah), rentang (terbesar dikurangi terkecil), atau keragaman (jumlah nilai yang berbeda). Operasi lingkungan ini berguna untuk berbagai jenis pemrosesan.

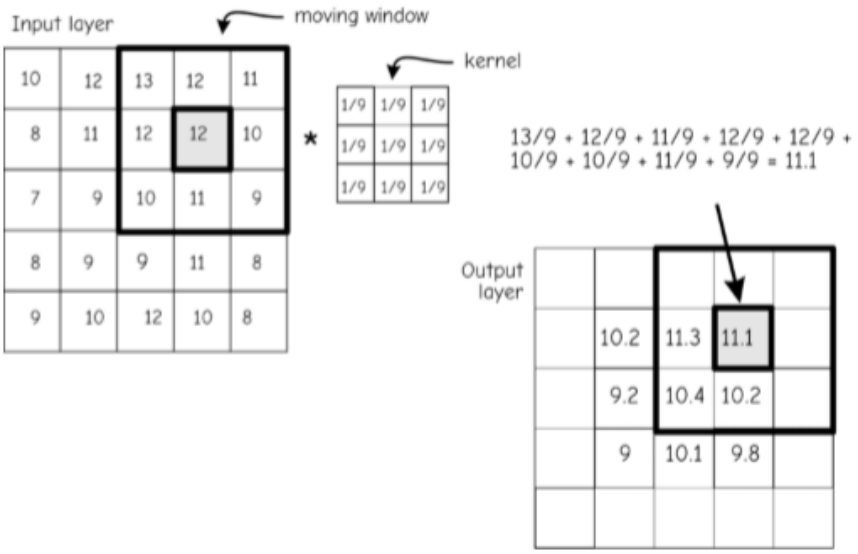
Pertimbangkan operasi mayoritas, juga dikenal sebagai filter mayoritas. Anda mungkin bertanya-tanya mengapa orang ingin menghitung filter mayoritas untuk layer data. Pemulusan data adalah aplikasi umum. Kami menjelaskan bagaimana data satelit multiband sering dikonversi dari data gambar mentah ke peta klasifikasi tutupan lahan. Pengklasifikasi ini sering menetapkan nilai berdasarkan piksel, dan sering kali menghasilkan banyak piksel tunggal dari satu jenis tutupan lahan yang tertanam di dalam jenis tutupan lahan lainnya. Piksel tunggal ini seringkali lebih kecil dari unit pemetaan minimum, area seragam terkecil yang ingin kami petakan.

Gambar 10.15: Contoh filter mayoritas yang diterapkan pada lapisan data raster dari citra satelit rahasia. Banyak sel terisolasi dikonversi ke kategori kelas sekitarnya yang dominan.

Filter mayoritas sering digunakan untuk menghilangkan “noise” klasifikasi ini. Filter mayoritas diilustrasikan pada Gambar diatas. Ini menggambarkan data tanaman NASS untuk suatu area di Indiana tengah, berdasarkan citra satelit rahasia. Ada lebih dari 40 jenis tutupan lahan yang umum di daerah tersebut, tetapi ini telah direklasifikasi menjadi jenis yang dominan dikembangkan (jalan), jagung, kacang-kacangan, dan tanaman lainnya. Setiap piksel berukuran 30 m, dan gambar di sebelah kiri adalah data NASS yang dikirimkan. Perhatikan bahwa jagung dan kacang-kacangan mendominasi, tetapi ada banyak piksel "nyasar" dari tipe vegetasi disonan yang tertanam atau di tepi tipe dominan di suatu area; misalnya, piksel kacang di ladang jagung, atau piksel jagung di ladang kacang. Piksel nyasar ini biasanya tidak mewakili kenyataan, karena meskipun mungkin ada satu atau dua tanaman yang diisolasi dari benih yang disimpan sebelumnya dalam rotasi tanaman tahunan ini, patch hampir tidak pernah mendekati ukuran 30 meter. Sel-sel tertanam paling sering salah klasifikasi karena penipisan kanopi atau mungkin gulma di bawah tanaman, dan sering di bawah unit pemetaan minimum.

Filter mayoritas yang diilustrasikan menghitung nilai dari empat sel yang berbagi tepi dengan sel mana pun. Jika mayoritas, yang berarti tiga atau lebih sel, bertipe, maka sel tersebut dikeluarkan sebagai tipe mayoritas ini. Jika mayoritas tidak tercapai, seperti ketika hanya satu atau dua sel yang ditambahkan ke tipe yang paling sering di empat sel yang berbatasan, maka nilai sel tengah tidak berubah dalam output. Penghapusan sebagian besar "noise" piksel tunggal oleh filter mayoritas dapat diamati pada gambar.

Mungkin ada banyak varian untuk operasi tertentu. Filter mayoritas yang baru saja dibahas dapat menetapkan nilai output jika hanya dua dari empat nilai sel yang berdekatan yang paling sering, atau menggunakan 8 atau 24 sel terdekat untuk menghitung mayoritas. Ketergantungan output pada spesifikasi algoritme harus selalu dikenali saat menerapkan operasi raster apa pun

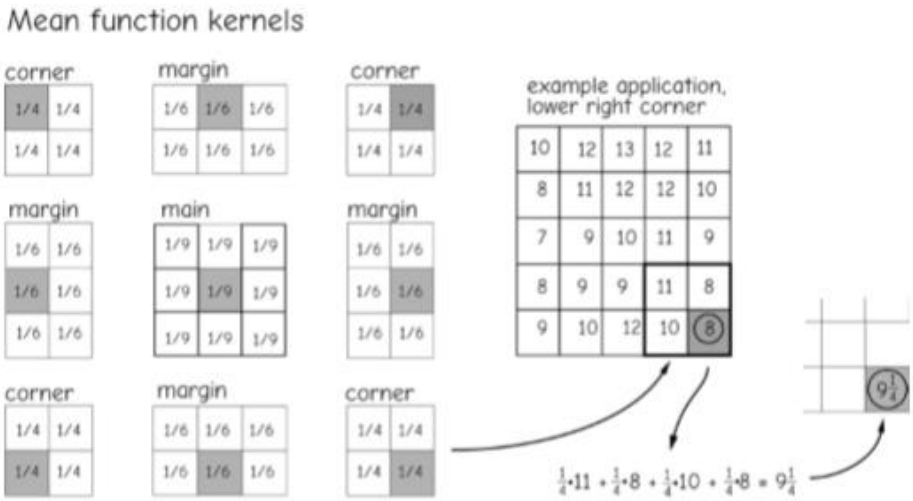


Gambar 10.16: Contoh fungsi rata-rata yang diterapkan melalui jendela bergerak. Nilai sel lapisan input dari jendela bergerak 3 kali 3 (kiri atas) dikalikan dengan kernel untuk menentukan nilai sel output yang sesuai. Proses ini diulang untuk setiap sel di lapisan input.

Gambar diatas menunjukkan contoh perhitungan rata-rata menggunakan jendela bergerak. Fungsi memindai semua sembilan nilai di jendela. Ini menjumlahkan mereka dan membagi jumlah dengan jumlah sel di jendela, sehingga menghitung nilai sel rata-rata untuk jendela input. Perkalian dapat diwakili oleh kisi 3 kali 3 yang berisi nilai sepersembilan (1/9). Nilai rata-rata kemudian disimpan dalam layer data output di lokasi yang sesuai dengan sel tengah dari jendela yang bergerak. Jendela kemudian digeser ke kanan dan proses diulang. Ketika akhir baris tercapai, jendela dikembalikan ke kolom paling kiri, digeser ke bawah satu baris, dan proses diulang sampai semua baris dimasukkan.

Jendela bergerak untuk banyak fungsi matematika sederhana dapat didefinisikan oleh kernel. Kernel untuk fungsi jendela bergerak adalah himpunan konstanta sel untuk ukuran dan bentuk jendela tertentu. Konstanta ini digunakan dalam fungsi di setiap lokasi jendela bergerak. Kernel pada Gambar diatas menentukan mean. Seperti yang ditunjukkan gambar, setiap nilai sel untuk layer Input pada posisi jendela tertentu dikalikan dengan konstanta kernel yang sesuai. Hasilnya ditempatkan di layer Output.

Perhatikan bahwa ketika tepi jendela bergerak ditempatkan pada margin grid raster asli, kita dibiarkan dengan setidaknya satu baris atau kolom perbatasan yang nilai outputnya tidak ditentukan. Hal ini diilustrasikan pada Gambar diatas. Jendela bergerak ditampilkan di sudut kanan atas raster input. Jendela berada sedekat mungkin dengan bagian atas dan sisi kanan raster tanpa menempatkan lokasi sel input di wilayah yang tidak ditentukan, di luar batas layer raster. Sel tengah untuk jendela adalah satu sel ke kiri dan satu sel ke bawah dari sudut raster input. Nilai output tidak ditentukan untuk sel di sepanjang margin atas, bawah, dan samping dari raster output saat menggunakan jendela 3 kali 3, karena sebagian dari jendela bergerak akan berada di luar kumpulan data raster. Setiap operasi yang diterapkan pada layer output yang berurutan dapat mengikis margin lebih jauh.



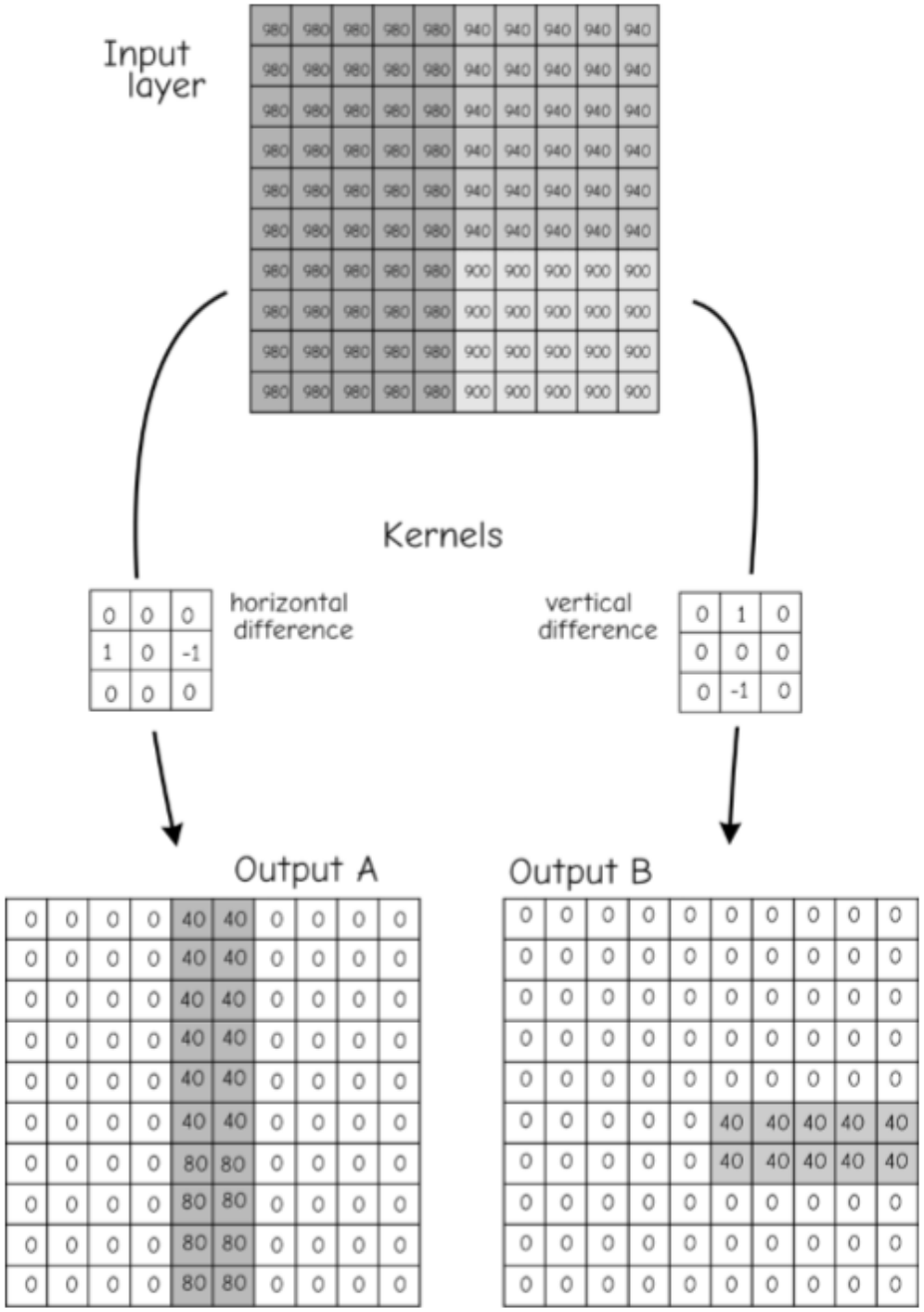
Gambar 10.17: Kernel dapat dimodifikasi untuk mengisi nilai untuk fungsi jendela bergerak pada margin kumpulan data raster. Di sini kernel margin dan corner didefinisikan secara berbeda dari kernel "utama". Nilai output ditempatkan di sel yang diarsir untuk setiap kernel. Kernel margin dan sudut mirip dengan kernel utama, tetapi disesuaikan dalam bentuk dan nilainya untuk mengabaikan area "di luar" raster.

Ada beberapa metode umum untuk mengatasi erosi margin ini. Salah satunya adalah untuk menentukan area studi yang lebih besar dari area yang diminati. Data mungkin hilang di margin, tetapi data ini tidak penting jika berada di luar area yang diminati. Pendekatan umum kedua mendefinisikan kernel yang berbeda untuk jendela margin. Kernel margin mirip dengan kernel utama, tetapi dimodifikasi sesuai kebutuhan dengan perubahan bentuk dan ukuran. Gambar 10-19 mengilustrasikan kernel 3 kali 3 untuk sebagian besar raster. Nilai sudut dapat ditentukan menggunakan kernel 2 kali 2, dan tepi dapat ditentukan dengan kernel 2 kali 3. Output dari kernel ini ditempatkan di sel tepi yang sesuai.

Jendela dan kernel bergerak yang berbeda dapat ditentukan untuk mengimplementasikan banyak fungsi lingkungan yang berbeda. Misalnya, kernel dapat digunakan untuk mendeteksi tepi dalam layer raster. Kita mungkin tertarik pada perbedaan variabel di seluruh lanskap. Misalnya, kecelakaan kereta api mungkin telah menyebabkan tumpahan bahan kimia dan rembesan melalui tanah yang berdekatan. Kita mungkin ingin mengidentifikasi batas tumpahan dari sekumpulan sampel tanah. Misalkan ada properti tanah, seperti tanda kimia, yang memiliki konsentrasi tinggi di tempat tumpahan terjadi, tetapi konsentrasi rendah di area

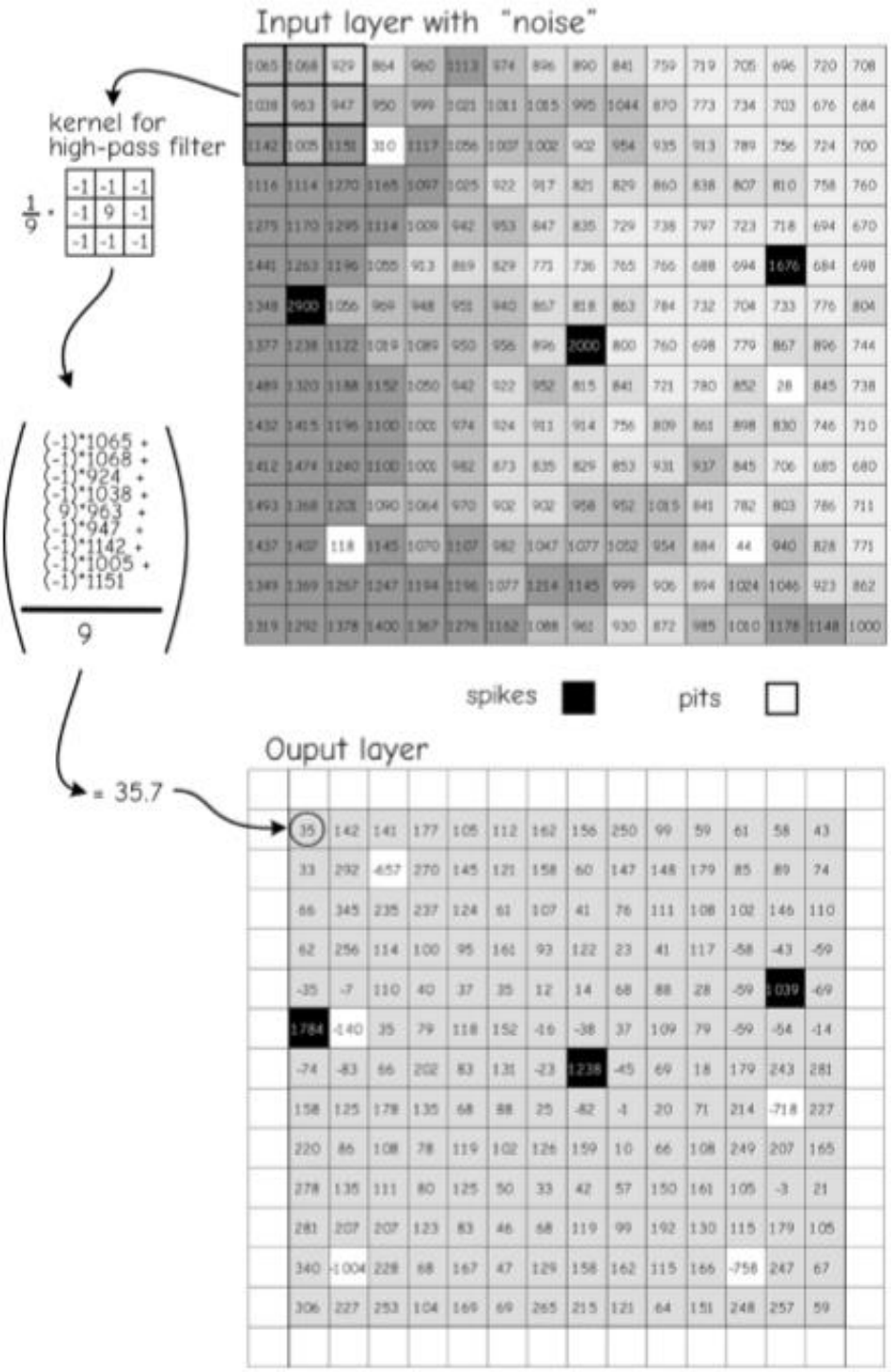
lain. Kami mungkin menerapkan kernel untuk mengidentifikasi di mana perubahan mendadak pada tingkat bahan kimia ini menciptakan tepi.

Deteksi tepi didasarkan pada membandingkan perbedaan di seluruh kernel. Nilai di satu sisi kernel dikurangi dari nilai di sisi lain. Perbedaan yang besar menghasilkan nilai output yang besar, sedangkan perbedaan yang kecil menghasilkan nilai output yang kecil. Tepi didefinisikan sebagai sel-sel dengan nilai output lebih besar dari beberapa ambang batas



Gambar 10.18: Ada sejumlah besar kernel yang digunakan dengan jendela yang bergerak. Kernel di sebelah kiri memperkuat perbedaan dalam arah x, sedangkan kernel di sebelah kanan memperkuat perbedaan dalam arah y. Kernel ini dan kernel lainnya dapat digunakan untuk mendeteksi fitur tertentu dalam lapisan data.

Gambar diatas mengilustrasikan penerapan operasi deteksi tepi. Kernel di sebelah kiri Gambar menguatkan perbedaan dalam arah x. Nilai di sebelah kiri dari tiga kolom yang berdekatan dikurangi dari nilai di baris sel sebelah kanan yang sesuai. Proses ini diulang untuk setiap sel di kernel, dan nilai-nilai dijumlahkan di semua sembilan sel. Perbedaan besar menghasilkan nilai besar, baik positif atau negatif, disimpan di sel tengah. Perbedaan kecil antara kolom kiri dan kanan menyebabkan sejumlah kecil di sel tengah. Jadi, jika ada perbedaan besar antara nilai saat bergerak ke arah x, perbedaan ini disorot. Struktur spasial seperti perubahan ketinggian yang tiba-tiba dapat dideteksi oleh kernel ini. Kernel di kanan tengah Gambar dapat digunakan untuk mendeteksi perbedaan dalam arah y.



Gambar 10.19 : Contoh fungsi jendela bergerak. Data raster sering mengandung “noise” anomali (sel gelap dan terang). Filter dan kernel high-pass, ditampilkan di kiri atas, menyoroti sel-sel "berisik". Perbedaan lokal diperkuat sehingga sel-sel anomali mudah diidentifikasi.

Gambar diatas mendemonstrasikan penggunaan kernel high-pass pada kumpulan data yang mengandung noise. Kumpulan data elevasi yang ditunjukkan di bagian atas gambar berisi sejumlah sel anomali. Sel-sel ini memiliki nilai yang sangat tinggi (paku, ditampilkan dalam warna hitam) atau nilai rendah (lubang, ditampilkan dalam warna putih) relatif terhadap sel di dekatnya. Jika tidak dikoreksi, lubang dan paku akan mempengaruhi kemiringan, aspek, dan perhitungan berbasis medan lainnya. Nilai ekstrim lokal ini harus diidentifikasi dan dimodifikasi.

Data raster mungkin mengandung “noise”. Kebisingan adalah nilai yang besar atau kecil relatif terhadap konteks spasialnya. Kebisingan dapat berasal dari beberapa sumber, antara lain kesalahan pengukuran, kesalahan pencatatan data asli, kesalahan perhitungan, atau kehilangan data.

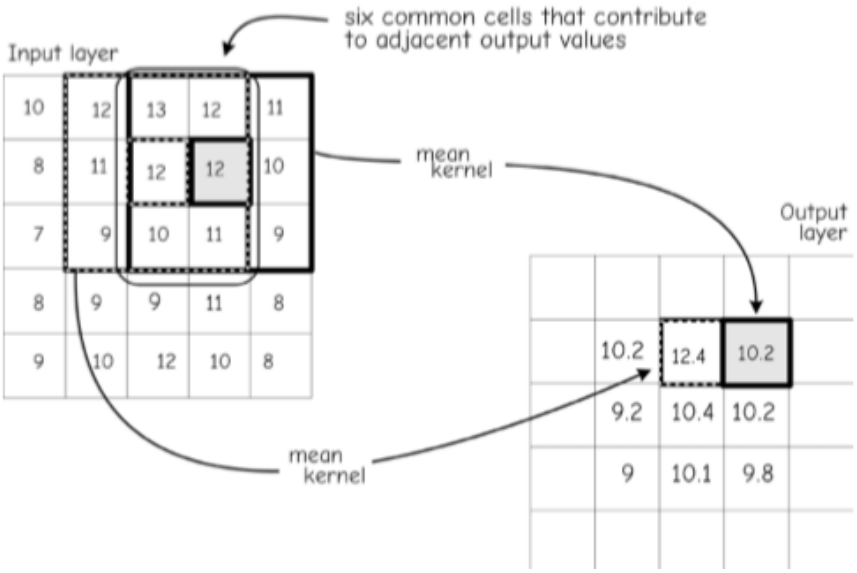
Seringkali ada kebutuhan untuk memperbaiki kesalahan ini. Jika tidak mungkin atau mahal untuk mengunjungi kembali area studi dan mengumpulkan data baru, data yang bising dapat dihaluskan menggunakan kernel dan jendela bergerak. Ada fungsi yang dikenal sebagai filter lolos tinggi dengan kernel yang menonjolkan perbedaan antara sel yang berdekatan. Kernel filter highpass ini mungkin berguna dalam mengidentifikasi lonjakan atau lubang yang merupakan karakteristik data yang bising. Sel yang diidentifikasi sebagai paku atau lubang kemudian dapat dievaluasi dan diedit sebagaimana mestinya, menghilangkan nilai yang salah. Kernel high-pass umumnya mengandung nilai negatif dan positif dalam pola yang menonjolkan perbedaan lokal.

Kernel high-pass yang ditampilkan berisi nilai 9 di tengah dan -1 di semua sel lainnya. Setiap nilai dibagi dengan 9 untuk mengurangi jangkauan variabel output. Kernel mengembalikan nilai mendekati rata-rata lokal di area yang berubah dengan lancar. Nilai positif dan negatif seimbang, mengembalikan angka kecil di area datar.

Kernel high-pass menghasilkan nilai positif yang besar ketika dipusatkan pada spike. Perbedaan besar antara sel tengah dan sel yang berdekatan ditekankan. Sebaliknya, nilai negatif yang besar dihasilkan ketika sebuah lubang ditemukan. Sebuah contoh menunjukkan penerapan filter lolos tinggi untuk sel di dekat sudut kiri atas layer data input (Gambar 10-21). Setiap nilai sel dikalikan dengan koefisien kernel yang sesuai. Angka-angka ini dijumlahkan, dan dibagi dengan 9, dan hasilnya ditempatkan di lokasi output yang sesuai. Hasil perhitungan ditampilkan sebagai bilangan real, tetapi nilai sel yang ditampilkan di sini dicatat sebagai bilangan bulat. Nilai output mungkin bilangan real atau bilangan bulat, tergantung pada algoritma pemrograman dan mungkin spesifikasi yang ditetapkan oleh pengguna.

Filter rata-rata mewakili banyak fungsi jendela bergerak karena meningkatkan kovarians spasial dalam kumpulan data output. Kovarians spasial yang tinggi berarti nilai-nilai bersifat autokorelasi. Kovarians spasial positif yang besar berarti sel yang berdekatan satu sama lain cenderung memiliki nilai yang serupa. Di mana Anda menemukan satu sel dengan jumlah besar, kemungkinan besar Anda akan menemukan lebih banyak sel dengan jumlah besar. Jika data spasial memiliki kovarians spasial yang tinggi, maka angka-angka kecil juga cenderung ditemukan berdekatan satu sama lain. Kovarians spasial yang rendah berarti nilai di dekatnya

tidak terkait – mengetahui nilai pada satu sel tidak memberikan banyak informasi tentang nilai pada sel terdekat. Kovarians spasial yang tinggi di "dunia nyata" mungkin merupakan hal yang baik. Jika kita sedang mencari mineral, maka sampel dengan nilai tinggi menunjukkan bahwa kita mungkin berada di dekat area yang lebih luas dari endapan bijih. Namun, jika autokorelasi spasial ditingkatkan oleh fungsi jendela bergerak, kita mungkin mendapatkan kesan yang terlalu optimis tentang kemungkinan kita untuk menjadi kaya.



Gambar 10.20: Jendela yang bergerak dapat meningkatkan kovarians spasial. Sel output yang berdekatan berbagi banyak nilai sel input. Dalam fungsi rata-rata yang ditunjukkan di sini, ini menghasilkan nilai sel keluaran yang serupa.

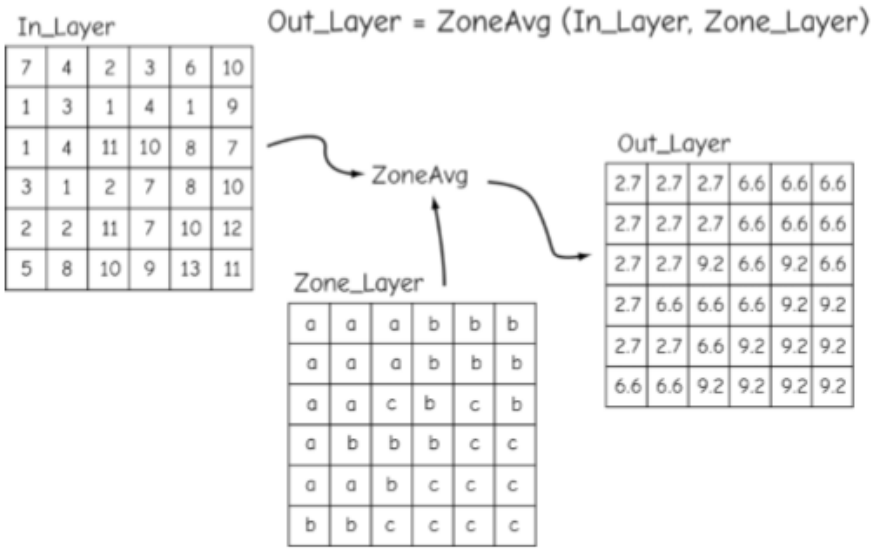
Kovarians spasial meningkat dengan banyak fungsi jendela bergerak karena fungsi-fungsi ini berbagi sel dalam perhitungan yang berdekatan. Perhatikan fungsi rata-rata pada Gambar. Bagian kiri Gambar. menunjukkan posisi berurutan dari jendela 3 kali 3. Di lokasi jendela pertama rata-rata dihitung dan ditempatkan di layer output. Pusat jendela kemudian digeser satu sel ke kanan, dan rata-rata untuk lokasi ini dihitung dan ditempatkan di sel output berikutnya ke kanan. Perhatikan bahwa ada enam sel yang sama untuk kedua cara ini. Sel-sel yang berdekatan di layer data output berbagi enam dari sembilan sel dalam perhitungan rata-rata. Ketika sel yang sangat rendah atau tinggi terjadi, itu mempengaruhi rata-rata banyak sel di layer data output. Hal ini menyebabkan output menjadi sangat mirip, dan meningkatkan kovarians spasial

10.4.1 Fungsi Zona

Fungsi zona menerapkan operasi berdasarkan region atau zona yang ditentukan, dalam suatu area. Biasanya zona dicatat dalam layer data, dengan pengidentifikasi unik untuk setiap zona. Sebuah fungsi kemudian diterapkan berdasarkan zona.

Ada banyak alasan untuk menerapkan fungsi zona. Kami sering ingin meringkas data untuk unit yang ditentukan di suatu wilayah, termasuk total populasi di suatu kabupaten, curah hujan rata-rata di daerah aliran sungai, atau jumlah keluarga miskin di seluruh lingkungan. Analisis yang lebih rumit mungkin memerlukan operasi yang berbeda untuk diterapkan pada zona yang berbeda; misalnya, kami mungkin membuat kumpulan data elevasi dari banyak

sumber, dan kami mungkin ingin menggunakan data kualitas tertinggi di zona yang ada, dan menggunakan data yang lebih buruk secara berturut-turut di zona lain. Fungsi zonal memberi kita kemampuan ini.



Gambar 10.21: Contoh fungsi zona. Rata-rata dihitung berdasarkan zona yang disimpan di Zone_Layer.

Gambar diatas mengilustrasikan penerapan fungsi zona. Dalam contoh ini, fungsi menghitung rata-rata zona untuk In_Layer, berdasarkan zona yang ditentukan oleh Zone_Layer. Sintaksnya di sini adalah Out_Layer = ZoneAvg(In_Layer, Zone_Layer)

Tidak ada sintaks standar di seluruh perangkat lunak, sehingga urutan spesifik dan interpretasi operan bergantung pada perangkat lunak yang digunakan.

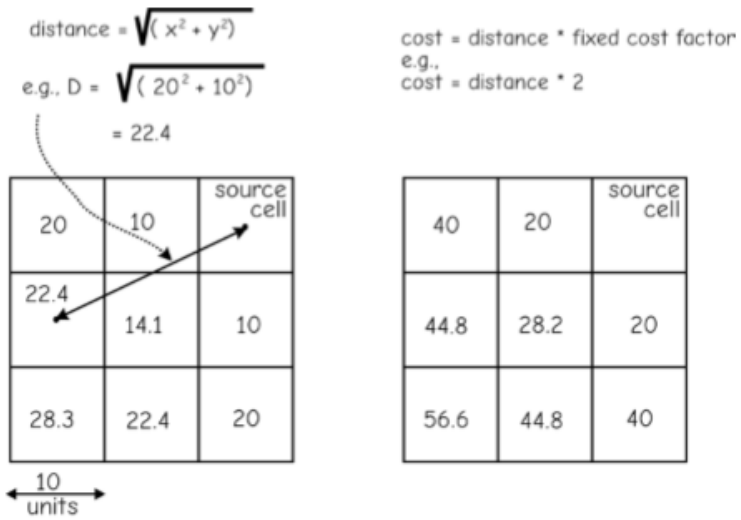
Perhatikan bahwa output di sini adalah raster, dengan nilai identik di semua sel zona tertentu. Ini biasanya bagaimana fungsi zona ditentukan. Sebagian besar sistem dapat membuat tabel dengan pengidentifikasi zona dan nilai ringkasan untuk menyertai layer, dan dalam beberapa kasus operasi hanya menghasilkan tabel.

Fungsi zonal biasanya memerlukan ukuran sel yang kompatibel. Secara umum, ini berarti sel-sel di layer input dan layer penentu zona memiliki ukuran dan orientasi sel yang sama. Layer zona mungkin memiliki dimensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari layer input, tetapi kebalikannya umumnya tidak disarankan. Ukuran sel layer input lebih besar dari ukuran sel layer zona dapat menyebabkan definisi zona ambigu ketika lebih dari satu zona mungkin sesuai dengan sel input

10.4.2 Permukaan Biaya (Cost Surface)

Banyak masalah memerlukan analisis biaya perjalanan. Ini mungkin berupa biaya perjalanan moneter, seperti harga yang harus dibebankan untuk mengirimkan paket secara menguntungkan dari pusat distribusi terdekat ke semua titik di suatu wilayah. Biaya perjalanan juga dapat diukur dalam unit lain, misalnya, waktu yang diperlukan untuk melakukan perjalanan dari sekolah ke rumah sakit terdekat, atau sebagai kemungkinan, seperti kemungkinan gulma asing berbahaya menyebar dari titik pengenalan. Analisis ini dapat

dilakukan dengan bantuan permukaan biaya. Permukaan biaya berisi biaya minimum untuk mencapai sel dalam layer dari satu atau lebih sel sumber.



Gambar 10.22: Permukaan biaya berdasarkan biaya tetap per satuan jarak. Jarak minimum dari satu set sel sumber dikalikan dengan faktor biaya tetap untuk menghasilkan permukaan biaya.

Permukaan biaya yang paling sederhana didasarkan pada biaya perjalanan yang seragam. Biaya perjalanan hanya bergantung pada jarak yang ditempuh, dengan biaya tetap yang diterapkan per satuan jarak yang ditempuh. Biaya per satuan jarak ini tidak berubah dari sel ke sel. Tidak ada hambatan, sehingga jarak garis lurus diubah menjadi biaya. Pertama, jarak dihitung dari sumber kami atau lokasi awal ke setiap sel. Seperti diilustrasikan pada Gambar 10-24, jarak dihitung berdasarkan rumus Pythagoras. Jarak ke setiap sel dalam arah x dan y berkontribusi pada jarak total dari sel atau sel sumber.

Jarak dari sel sumber digabungkan dengan biaya tetap per satuan jarak untuk menghitung biaya perjalanan. Seperti ditunjukkan di sisi kanan Gambar, setiap nilai jarak dikalikan dengan faktor biaya tetap. Ini menghasilkan permukaan biaya, layer raster yang berisi biaya perjalanan ke setiap sel. Jika ada beberapa sel sumber, biaya perjalanan dihitung dari setiap sel sumber, dan biaya terendah biasanya ditempatkan di sel output.

Perhatikan bahwa jarak biasanya diukur setidaknya dua cara — jarak garis lurus (Euclidian), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1024, atau sebagai jarak baris-kolom. Jarak baris-kolom diukur sepanjang sumbu baris dan kolom, dan menurut definisi lebih panjang dari jarak garis lurus. Jarak garis lurus lebih disukai di sebagian besar aplikasi, meskipun lebih sulit untuk diterapkan.

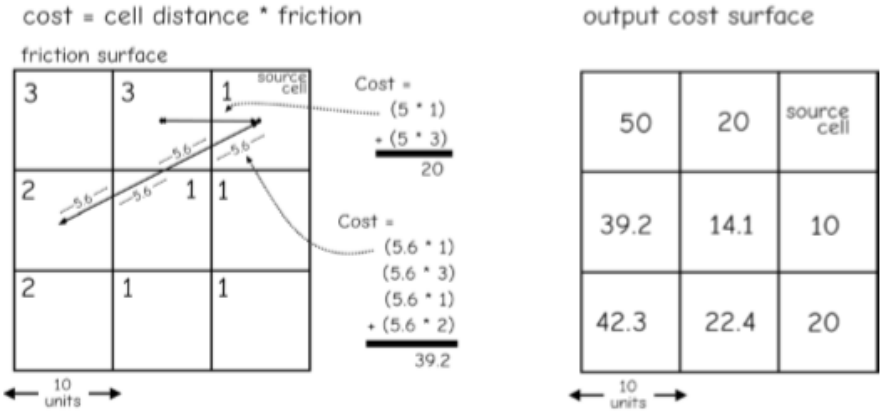
Biaya perjalanan juga dapat dihitung dengan menggunakan permukaan gesekan. Nilai sel dari permukaan gesekan mewakili biaya per unit jarak perjalanan untuk melintasi setiap sel. Permukaan gesekan digunakan untuk mewakili area dengan biaya perjalanan variabel. Bayangkan sebuah pangkalan militer yang besar. Bagian dari pangkalan mungkin termasuk bidang datar dan halus seperti lapangan bor, tempat parkir, atau lapangan parade. Daerah-daerah ini relatif mudah untuk dilintasi, dengan waktu tempuh yang rendah per satuan jarak. Bagian lain dari pangkalan mungkin ditutupi oleh padang rumput terbuka. Meskipun

permukaannya mungkin sedikit lebih kasar, waktu tempuhnya masih moderat. Bagian lain mungkin terdiri dari hutan. Daerah-daerah ini akan memiliki waktu tempuh yang tinggi, karena kendaraan harus memilih jalur di antara pepohonan. Akhirnya, mungkin ada daerah yang ditempati oleh air, pagar, atau bangunan. Daerah-daerah ini akan memiliki waktu perjalanan yang tidak terbatas secara efektif.

Setiap sel di permukaan gesekan mengandung biaya yang diperlukan untuk melintasi sebagian sel. Nilai 3 menunjukkan biaya tiga unit (waktu, uang, atau faktor lain) per unit jarak dalam sel. Jika sebuah sel memiliki lebar 10 dan biaya 3 unit per satuan jarak, dan sel dilintasi sepanjang lebarnya, maka biaya untuk melintasi sel adalah 10 kali 3, atau 30 unit.

Biaya aktual untuk melintasi sel tergantung pada jarak yang ditempuh melalui sel. Ketika sebuah sel dilintasi sejajar dengan tepi baris atau kolom maka jaraknya hanyalah dimensi sel. Ketika sebuah sel dilintasi pada sudut lain, jaraknya akan bervariasi. Ini mungkin lebih besar atau lebih kecil dari dimensi sel, tergantung pada sudut dan lokasi jalur.

Biaya perjalanan yang diperlukan untuk mencapai setiap sel adalah total akumulasi minimum dari biaya kali jarak ke sel sumber. Kami menentukan biaya akumulasi minimum karena jika ada lebih dari satu sel sumber, ada sejumlah besar jalur potensial ke masing-masing sel sumber ini. Jarak melintasi setiap sel dikalikan dengan biaya permukaan gesekan untuk sel itu dan dijumlahkan untuk jalur untuk mengakumulasi biaya perjalanan total. Jalur biaya terendah dari lokasi sumber ke sel biasanya ditetapkan sebagai biaya perjalanan ke sel itu.



Gambar 10.23: Permukaan biaya berdasarkan biaya perjalanan variabel spasial. Permukaan gesekan menentukan biaya perjalanan yang bervariasi secara spasial melalui sel raster. Jarak yang dilalui melalui setiap sel dikalikan dengan biaya di permukaan gesekan. Nilai dijumlahkan untuk setiap jalur untuk menghasilkan total biaya.

Gambar diatas menunjukkan contoh perhitungan untuk biaya gesekan sepanjang satu set jalur. Ini adalah jalur garis lurus yang berjalan sejajar dengan batas sel (murni dalam arah x atau y) atau pada beberapa sudut melintasi sel.

Contoh perhitungan biaya gesekan untuk jalur yang sejajar dengan sumbu x ditunjukkan di tengah atas dan di sisi kiri Gambar. Perhatikan bahwa ketika berjalan sejajar dengan batas sel, satu setengah lebar sel dilalui di sel awal dan akhir. Sel perantara disilangkan dengan lebar sel penuh. Ketika bergerak dari sel awal ke sel kiri yang berdekatan, nilai permukaan gesekan 1 ditemui, kemudian nilai permukaan gesekan 3. Setengah jarak, 5 unit, melalui sel kanan atas

pada per unit biaya gesekan 1. Setengah jaraknya melalui sel yang berdekatan ke kiri, dengan biaya gesekan per unit 3. Biaya total adalah jarak yang ditempuh di setiap sel dikalikan dengan biaya gesekan per unit sel:

$$5 * 1 + 5 * 3 = 20$$

Biaya gesekan saat melintasi sel pada sudut diilustrasikan di kiri bawah dan tengah bawah Gambar. Biaya gesekan adalah jumlah biaya sel per satuan jarak dikalikan dengan jarak yang ditempuh dalam setiap sel. Jalur dimulai pada sel sumber dan berakhir dua sel ke kiri dan satu sel ke bawah. Setiap sel intervensi dilalui untuk jarak 5,6 unit sel. Jarak yang ditempuh dalam setiap sel dikalikan dengan nilai gesekan untuk setiap sel. Total biaya untuk kaki ini adalah:

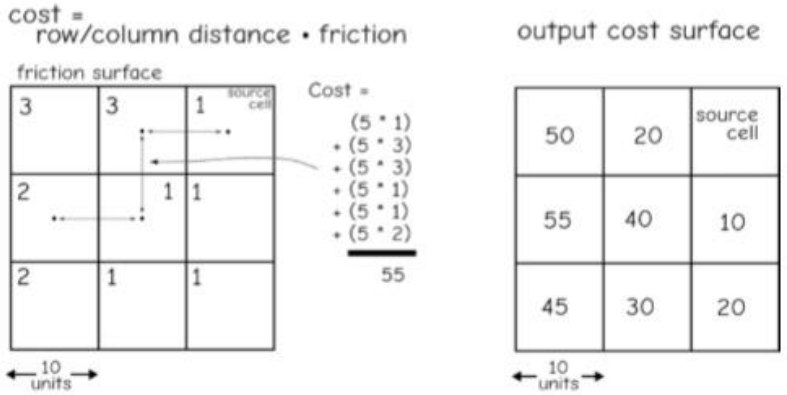
$$5.6*1 + 5.6*3 + 5.6*1 + 5.6*2 = 39.2$$

Secara umum, biaya setiap jalur dinyatakan sebagai:

$$Totalcost=d1*c1+d2*c2+....dn*cn$$

di mana di adalah jarak dan ci adalah biaya di setiap sel jalur.

Banyak perangkat lunak menghitung biaya kumulatif untuk jalur paling langsung menggunakan pendekatan yang sedikit berbeda, yang disebut jarak kolom baris. Daripada berjalan di sepanjang jalur garis lurus, jarak baris-kolom bergerak dari pusat sel ke pusat sel. Perhitungan jauh lebih mudah karena panjang jalur dalam setiap sel konstan dengan jarak kolom baris, dan untuk sel persegi jarak ini sama dengan lebar sel (atau tinggi). Jarak di setiap sel bervariasi saat menggunakan jarak garis lurus, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghitung jarak akumulasi meningkat secara substansial. Jarak baris/kolom memberikan biaya relatif yang sama untuk perjalanan dari sel sumber ke setiap sel target, tetapi biaya absolut berubah.



Banyak implementasi dari permukaan gesekan atau fungsi biaya memungkinkan Anda untuk mencari biaya minimum untuk melakukan perjalanan ke sel dari satu set sel sumber. Jarak garis lurus mungkin bukan yang “paling murah”, sehingga alternatif dapat diperiksa. Ada banyak rute dari sel sumber mana pun ke sel tujuan mana pun, ribuan rute berbeda dalam banyak kasus. Perangkat lunak biasanya menerapkan beberapa algoritme pengoptimalan untuk menghilangkan rute lebih awal dan mengurangi waktu pencarian, sehingga tiba di permukaan biaya dalam beberapa periode waktu yang dapat diterima.

Perhatikan bahwa penghalang dapat ditempatkan pada permukaan biaya untuk mencegah perjalanan melintasi bagian permukaan. Hambatan ini dapat ditentukan dengan menetapkan biaya yang sangat tinggi sehingga tidak ada jalur yang akan memasukkannya. Rute memutar apa pun akan lebih murah daripada melewati rintangan. Beberapa perangkat lunak memungkinkan spesifikasi kode unik untuk mengidentifikasi hambatan, dan kode ini menghalangi pergerakan melintasi sel.

10.5 Kesimpulan

Analisis raster adalah alat penting dalam GIS, dan harus dipahami oleh semua pengguna. Analisis raster tersebar luas dan berkembang dengan baik karena berbagai alasan, sebagian karena kesederhanaan struktur data, kemudahan dengan variabel kontinu dapat diwakili, dan sejarah panjang analisis raster.

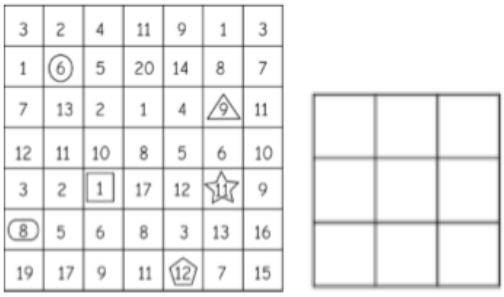
Algebra adalah konsep di mana layer data raster digabungkan melalui penjumlahan dan perkalian. Nilai digabungkan berdasarkan sel demi sel, dan dapat ditambahkan, dikurangi, dikalikan, atau dibagi. Perhatian harus diberikan untuk menghindari kombinasi ambigu dalam output yang berasal dari kombinasi input yang berbeda.

Analisis raster dapat berupa lokal, lingkungan, atau global, dan analisis umum seperti buffering dan overlay dapat diterapkan menggunakan kumpulan data raster. Operasi lingkungan sangat umum dalam analisis raster, dan dapat diterapkan dengan pendekatan jendela bergerak. Jendela bergerak menyapu semua sel dalam layer data, biasanya mengalikan nilai kernel dengan data yang ditemukan di sekitar sel tengah. Ukuran dan bentuk jendela dapat dimodifikasi di tepi layer data. Jendela bergerak dapat digunakan untuk menentukan berbagai fungsi kombinatorial, medan, dan statistik.

Biaya atau permukaan gesekan adalah bagian penting dari analisis kedekatan yang dapat dengan mudah diterapkan dalam analisis raster. Permukaan biaya mengidentifikasi biaya perjalanan yang diperlukan untuk perpindahan dari serangkaian lokasi tertentu specified.

10.6 Soal Latihan

1. Apa itu Algebra?
2. Mengapa layer raster harus memiliki ukuran dan orientasi sel yang kompatibel untuk sebagian besar operasi kombinasi raster?
3. Apa yang dimaksud dengan nilai nol dalam kumpulan data raster? Bagaimana nilai nol ini biasanya diperlakukan dalam operasi raster?
4. Lakukan operasi raster yang terdaftar.



Keterangan kotak kosong :

Lakukan operasi berikut dengan jendela 3x3. berpusat pada sel-sel yang dicatat.

- Rata-rata, pada lingkaran
- Deviasi standar, pada lingkaran
- Maksimum, pada segitiga
- Value range/rentang jarak, pada segiempat
- Rata-rata, pada elips
- Median, pada bintang

5. Lakukan operasi raster yang terdaftar.

3	2	4	11	9	1	3
1	6	5	20	14	8	7
7	13	2	1	4	9	11
12	11	10	8	5	6	10
3	2	1	17	12	11	9
8	5	6	8	3	13	16
19	17	9	11	12	7	15

Keterangan kotak kosong :

Lakukan operasi berikut dengan jendela 3x3. berpusat pada sel-sel yang dicatat.

- Rata-rata, pada lingkaran
- Deviasi standar, pada lingkaran
- Maksimum, pada segitiga
- Value range/rentang jarak, pada segiempat
- Rata-rata, pada elips
- Median, pada bintang

6. Berapa nilai dalam sel C1, C2, C3, dan C12 di layer output?

Con(layer1 < 2,0,1)

Layer1

2	N	1	2
1	N	1	3
4	1	2	0
N	2	N	1

Output

C1	C2	C3	C4
C5	C6	C7	C8
C9	C10	C11	C12
C13	C14	C15	C16

7. Berapa nilai dalam sel C5, C7, C10, dan C13 di layer output?

Con(layer1 < 2,0,1)

Layer1

2	N	1	2
1	N	1	3
4	1	2	0
N	2	N	1

Output

C1	C2	C3	C4
C5	C6	C7	C8
C9	C10	C11	C12
C13	C14	C15	C16

8. Berapa nilai sel untuk sel C1, C3, C4, dan C10 di layer output, di bawah?

Output = CON(LayerA==N),1,LayerA

layerA

N	N	1	0
1	N	2	N
N	4	N	N
0	1	N	1

Output

C1	C2	C3	C4
C5	C6	C7	C8
C9	C10	C11	C12
C13	C14	C15	C16

9. Berapa nilai sel untuk sel C2, C5, C7, dan C11 di layer output, di bawah?

Output = CON(LayerA==N),1,LayerA)

layerA

N	N	1	0
1	N	2	N
N	4	N	N
0	1	N	1

Output

C1	C2	C3	C4
C5	C6	C7	C8
C9	C10	C11	C12
C13	C14	C15	C16

10. Berikan contoh operasi Nested.

11. Berapa nilai dalam sel output C9, C10, C11, dan C12?

Output = CON(ISNULL(LayerA), 1, N)

layerA

1	N	N	0
0	N	2	1
N	1	5	0
N	1	N	1

Output

C1	C2	C3	C4
C5	C6	C7	C8
C9	C10	C11	C12
C13	C14	C15	C16

12. Berapa nilai dalam sel output C7, C8, C13, dan C16?

Output = CON(ISNULL(LayerA), 1, N)

layerA

1	N	N	0
0	N	2	1
N	1	5	0
N	1	N	1

Output

C1	C2	C3	C4
C5	C6	C7	C8
C9	C10	C11	C12
C13	C14	C15	C16

13. Apa ruang lingkup operasi raster?
14. Apakah operasi NOT yang diterapkan ke nilai sel raster yang berisi nilai NULL mengembalikan nilai NULL, nilai nol, 1, atau nilai nonnull lainnya?
15. Diagram operasi AND pada sel data raster
16. Berikan jawaban untuk operasi logis berikut:

1	1	0	0
0	0	0	1
1	1	0	0
1	0	0	1

and

0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0
1	0	1	1

=

1	1	0	0
0	0	0	1
1	1	0	0
1	0	0	1

or

0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0
1	0	1	1

=

17. Berikan jawaban untuk operasi logis berikut:

0	0	N	3
1	0	0	3
1	7	1	0
0	N	0	1

and

0	5	0	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1

=

0	1	0	0
0	0	0	1
3	0	0	0
1	0	1	1

or

0	1	0	9
1	0	0	1
1	1	N	0
0	0	6	0

=

18. Jelaskan bagaimana fungsi aritmatika lokal dapat digunakan untuk menerapkan fungsi klip di lingkungan raster.
19. Apa yang dimaksud dengan kernel dalam operasi jendela bergerak? Apakah ukuran atau bentuk kernel berubah untuk bagian yang berbeda dari kumpulan data raster? Mengapa atau mengapa tidak?
20. Operasi jendela bergerak apa yang kemungkinan besar akan menggunakan kernel di bawah ini?

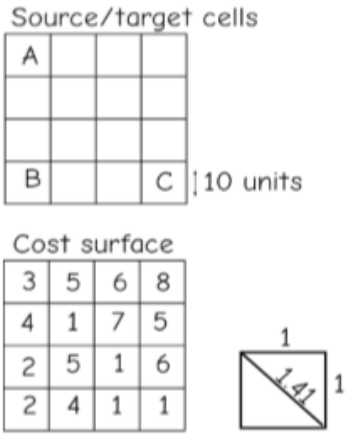
-2	-1	-2	-1	-2
-1	0	0	0	-1
-2	0	25	0	-2
-1	0	0	0	-1
-2	-1	-2	-1	-2

21. Operasi jendela bergerak apa yang kemungkinan besar akan menggunakan kernel di bawah ini?

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

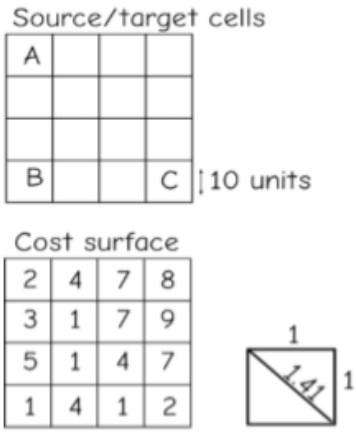
22. Apa yang dimaksud dengan kovarians spasial tinggi dalam layer data raster?

23. Hitung biaya perjalanan antara A dan B, dan A dan C, di atas permukaan biaya di bawah, baik dengan garis lurus, maupun dengan jalur baris-kolom.



Ingat, diagonal perseginya adalah 1.4 x sisi

24. Hitung biaya perjalanan antara A dan B, dan A dan C, di atas permukaan biaya di bawah, baik dengan garis lurus, dan dengan jalur baris-kolom:



Ingat, diagonal perseginya adalah 1.4 x sisi

10.7 DAFTAR PUSTAKA

Berry, J.K. (1986). A mathematical structure for analyzing maps. Environmental Management, 11:317–325.

Berry, J.K. (1987). Fundamental operations in computer-assisted mapping. International Journal of Geographic Information Systems, 1:119–136.

Bonhame-Carter, G.F. (1996). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Ottawa: Pergamon.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems (2nd ed.). New York: Oxford University Press.

Cliff, A.D., Ord, J.K. (1987). Spatial Autocorrelation. New York: Methuen. DeMers, M.N. (2002). GIS Modeling in Raster. Wiley: New York.

de Smith, M.J., Goodchild, M.F., Longley, P.A. (2007). Geospatial Analysis, a Comprehensive Guide to Principles, Techniques, and Software Tools. Leicester: Matador.

Eastman, J.R., Jin, W., Keym, P.A.K., Toledano, J. (1995). Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61:539–547.

Eastman, J.R. (1997). Idrisi for Windows. Worcester: Clark University.

Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. Computers and Geosciences, 32:1283– 1298.

Morain, S., Baros, S.L. (1996). Raster Imagery in Geographic Information Systems. Santa Fe: OnWord Press.

Mitchell, A. (1999). The ESRI Guide to GIS Analysis: Geographic Patterns and Relationships. Redlands: ESRI Press.

Tomlin, C. D. (1990). Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

BAB 11
ANALISIS TERRAIN

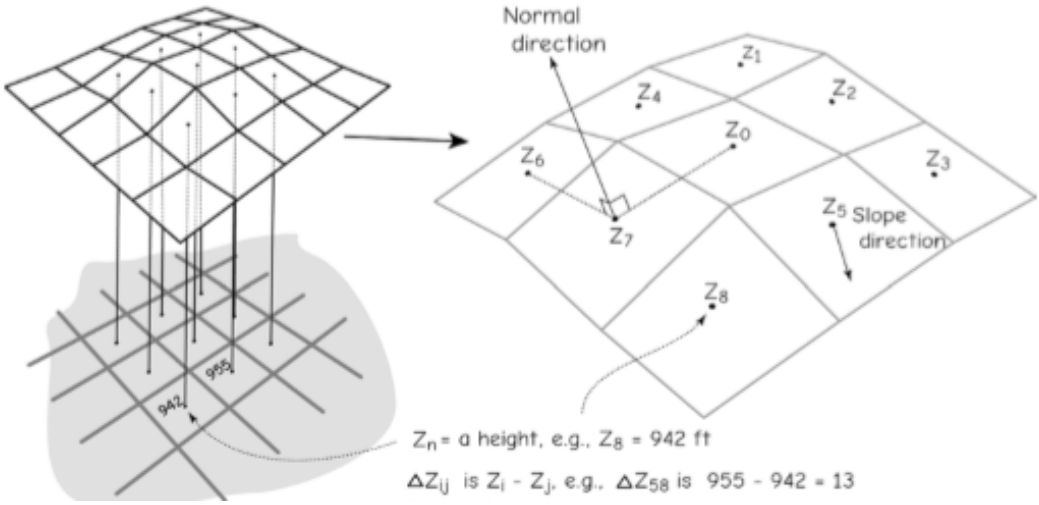
11.1 Pendahuluan

Ketinggian dan variabel medan terkait penting di beberapa titik dalam kehidupan hampir semua orang. Ketinggian dan kemiringan bervariasi di seluruh lanskap dan variasi ini menentukan di mana sungai mengalir, danau terjadi, dan sering terjadi banjir. Variasi medan mempengaruhi kelembaban tanah dan karenanya produksi makanan. Medan sebagian besar mempengaruhi kualitas air melalui pembentukan sedimen dan transportasi. Medan sangat mempengaruhi jaringan transportasi dan biaya serta metode konstruksi bangunan. Variabel medan sering diterapkan dalam berbagai analisis spasial.

Mengingat pentingnya elevasi dan variabel medan lainnya dalam pengelolaan sumber daya, dan kesulitan analisis medan manual, tidak mengherankan bahwa analisis medan dikembangkan dengan baik di GIS. Memang, seringkali tidak praktis untuk melakukan analisis medan yang konsisten tanpa GIS. Misalnya, kemiringan sangat penting dalam banyak masalah pengelolaan sumber daya. Perhitungan kemiringan di area yang luas berdasarkan peta hardcopy lambat, rawan kesalahan, dan tidak konsisten. Perbedaan elevasi pada jarak horizontal sulit diukur. Selanjutnya, pengukuran ini lambat dan cenderung bervariasi di antara analis manusia. Sebaliknya, perhitungan kemiringan digital mudah diprogram, konsisten, dan telah terbukti seakurat pengukuran lapangan.

Baik data maupun metode ada untuk mengekstrak variabel medan yang penting melalui GIS. Data DEM telah diproduksi dengan biaya yang cukup besar, dan ada proses pembaruan dan pembaruan DEM yang berkelanjutan. perbaikan.

Sebagian besar analisis medan dilakukan dengan menggunakan model data raster. Sementara TIN dan model data lainnya telah dikembangkan untuk menyimpan dan memfasilitasi analisis medan, struktur data raster lebih umum digunakan. Kumpulan data raster memfasilitasi perhitungan kemiringan, aspek, dan variabel medan penting lainnya yang mudah dan seragam.



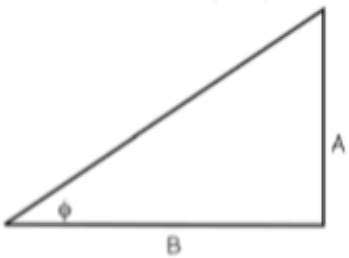
Gambar 11.1: Penggambaran permukaan yang diwakili oleh DEM raster, dan perubahan nilai Z untuk sel yang digunakan untuk menghitung berbagai atribut medan.

Perhitungan didasarkan pada nilai sel yang ditetapkan ke kisi biasa. Kami menggunakan konsep nilai Z, ketinggian yang disimpan dalam array raster, untuk mengekstrak informasi tentang medan, menggunakan besaran dan pola perubahan Z di seluruh grid. Misalnya, perbedaan ketinggian antara sel yang berdekatan atau di sekitar sel digunakan untuk menghitung kemiringan lokal (Kemiringan pada Gambar). Sudut dan orientasi garis yang ditentukan oleh nilai X, Y, dan Z di dekat suatu titik digunakan untuk menghitung vektor normal, tegak lurus terhadap permukaan lokal. Kelengkungan lokal dan arah kemiringan juga dihitung dengan perbedaan nilai Z di lingkungan.

Banyak fungsi analisis medan dapat ditentukan dengan operasi matematika yang diterapkan pada jendela bergerak yang sesuai. Hasil dari operasi matematika ini pada gilirannya memberikan informasi penting tentang karakteristik medan yang membantu dalam analisis spasial dan pemecahan masalah.

11.1.1 Aspek dan Kemiringan

Kemiringan dan aspek adalah dua variabel medan yang umum digunakan. Mereka diperlukan dalam banyak studi hidrologi, konservasi, perencanaan lokasi, dan pembangunan infrastruktur, dan merupakan dasar untuk banyak fungsi analisis medan lainnya. Biaya dan keselamatan konstruksi jalan sensitif terhadap kemiringan, seperti halnya sebagian besar kegiatan konstruksi lainnya. Batas DAS, alur dan arah aliran, pemodelan erosi, dan penentuan jarak pandang semuanya menggunakan data kemiringan dan/atau aspek sebagai input. Kemiringan atau aspek mungkin berguna dalam pemetaan vegetasi dan sumber daya tanah, sehingga meningkatkan akurasi dan spesifisitas data spasial, dan terkadang mengurangi biaya.



$$\text{Kemiringan sebagai persen} = \frac{\text{rise}}{run} * 100$$

$$Kemiringan\ sebagai\ persen = \frac{A}{B} * 100$$

$$\text{Kemiringan sebagai derajat} = \phi$$

$$\text{Kemiringan sebagai derajat} = tan^{-1}(\frac{A}{B})$$

Untuk kengonversi persen kemiringan ke derajat masukkan rumus. Misalnya : 3% = berapa derajat?

A/B*199, sehingga A/B=3/100=0.03

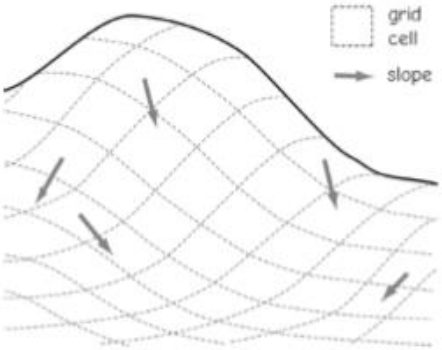
$$\frac{\text{A}}{\text{B}} * 100 = 3, \text{sehingga} \frac{\text{A}}{\text{B}} = \frac{3}{100} = 100$$

$$= tan^{-1}(0.03) = 1.72\ derajat$$

Lereng didefinisikan sebagai perubahan ketinggian (naik) dengan perubahan posisi horizontal (lari). Terlihat pada penampang, kemiringan berhubungan dengan kenaikan elevasi di atas run pada posisi horizontal (Gambar 11-3). Kemiringan sering dilaporkan dalam derajat, antara nol (datar), dan 90 (vertikal). Kemiringannya sama dengan 45 derajat ketika kenaikannya sama dengan larinya. Kemiringan dalam derajat dihitung dari naik dan turun melalui fungsi trigonometri tangen. Menurut definisi, tangen sudut kemiringan (φ) adalah rasio kenaikan selama run, seperti yang ditunjukkan pada (Gambar segitiga diatas). Garis singgung terbalik dari kenaikan terukur di atas lintasan memberikan sudut kemiringan. Kenaikan yang lebih curam atau lintasan yang lebih pendek mengarah ke yang lebih tinggi dan karenanya kemiringan yang lebih curam.

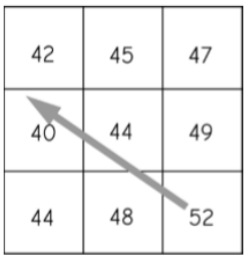
Kemiringan juga dapat dinyatakan sebagai persen, dihitung dengan 100 kali kenaikan selama proses. Lereng dinyatakan sebagai rentang persen dari nol (datar) hingga tak terbatas (vertikal). Kemiringan 100% terjadi ketika kenaikan sama dengan lari.

Menghitung kemiringan dari layer data raster lebih rumit daripada tampilan penampang yang ditunjukkan pada Gambar segitiga. Sel-sel raster terjadi pada interval reguler di permukaan medan yang tidak teratur. Arah kemiringan pada suatu titik di lanskap biasanya diukur dalam arah perubahan elevasi yang paling curam. Perubahan kemiringan dengan cara yang kompleks di banyak lanskap, dan perhitungan kemiringan harus memperhitungkan perubahan relatif ketinggian di sekitar sel pusat.



Gambar 11.2: Arah kemiringan, ditunjukkan sebagai panah abu-abu untuk beberapa contoh lokasi di atas, sering kali berubah secara substansial di antara sel-sel pada permukaan raster. Perhitungan kemiringan dalam tiga dimensi memerlukan pertimbangan semua nilai yang mengelilingi sel.

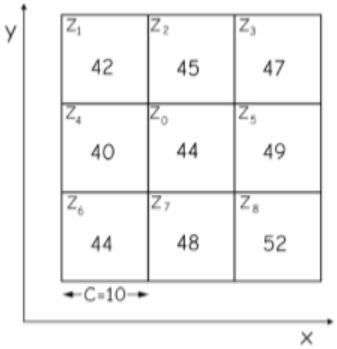
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar diatas. arah kemiringan seringkali tidak menunjuk sejajar dengan baris atau kolom raster. Perhatikan sel-sel yang digambarkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 11.3: Arah kemiringan pada permukaan raster biasanya tidak menunjuk dari pusat sel ke pusat sel. Oleh karena itu, rumus yang secara akurat mewakili kemiringan pada permukaan mengintegrasikan beberapa sel yang mengelilingi sel tengah.

Elevasi yang lebih tinggi terjadi di sudut kanan bawah, dan elevasi yang lebih rendah terjadi di kiri atas. Arah tren kemiringan paling curam dari satu sudut ke sudut lainnya, tetapi tidak melewati pusat sel mana pun secara langsung. Bagaimana kita mendapatkan nilai untuk naik dan turun? Ketinggian mana yang harus digunakan untuk menghitung kemiringan? Secara intuitif kita harus menggunakan beberapa kombinasi dari sejumlah sel di sekitar sel tengah, mungkin semuanya. Sejumlah peneliti telah menyelidiki metode untuk menghitung kemiringan, tetapi sebelum kita membahas metode ini, kita harus menjelaskan beberapa karakteristik umum dari perhitungan kemiringan menggunakan kumpulan data raster.

Ketinggian sering diwakili oleh huruf Z dalam fungsi medan. Fungsi medan ini biasanya dihitung dengan jendela bergerak simetris. Jendela sel 3 kali 3 adalah yang paling umum, meskipun jendela 5 kali 5 dan jendela bernomor ganjil lainnya juga digunakan. Setiap sel di jendela diberi subskrip, dan nilai ketinggian yang ditemukan di lokasi jendela direferensikan oleh nilai Z subskrip.



$$untuk\ Z_0$$

$$\frac{dZ}{dx} = \frac{49 - 40}{20} = 0.45$$

$$\frac{dZ}{dy} = \frac{45 - 48}{20} = -0.05$$

$$Kemiringan = \text{atan}\ [(0.045)^2 + (-0.15)^2]^{0.5} = 25.3^{o}$$

Gambar 11.4 : Perhitungan kemiringan berdasarkan sel yang berdekatan dengan sel tengah.

Gambar diatas menunjukkan contoh jendela sel 3 kali 3. Sel pusat memiliki nilai 44, dan disebut sebagai sel Z_0. Sel kiri atas disebut sebagai Z_1, sel tengah atas sebagai Z_2, dan seterusnya melalui sel Z_8 di sudut kanan bawah.

Kemiringan di setiap sel tengah paling sering dihitung dari rumus:

$$s = \sqrt{\left(\frac{dZ}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dZ}{dy}\right)^2}$$

di mana s adalah kemiringan, atan adalah fungsi tangen terbalik, Z adalah elevasi, x dan y adalah sumbu koordinat masing-masing, dan dZ/dx dan dZ/dy dihitung untuk setiap sel berdasarkan nilai elevasi yang mengelilingi sel tertentu. Simbol dZ/dx mewakili kenaikan (perubahan Z) selama lintasan dalam arah x, dan dZ/dy mewakili kenaikan lintasan dalam arah y. Rumus ini digabungkan untuk menghitung kemiringan untuk setiap sel berdasarkan gabungan perubahan elevasi dalam arah x dan y.

Banyak rumus dan metode yang berbeda telah diusulkan untuk menghitung dZ/dx dan dZ/dy. Yang paling sederhana, gunakan sel yang berdekatan dengan Z_0:

$$dZ/dx = (Z5 - Z4)/(2C)$$

$$dZ/dy = (Z2 - Z7)/(2C)$$

di mana C adalah dimensi sel dan Zs. Metode ini menggunakan sel “empat terdekat”, Z_4, Z_5, Z_2, dan Z_7, dalam menghitung dZ/dx dan dZ/dy. Keempat sel ini berbagi perbatasan umum terbesar dengan pusat. Empat metode terdekat ini mungkin yang paling jelas dan memberikan nilai kemiringan yang masuk akal dalam banyak keadaan.

Metode alternatif yang umum dikenal sebagai pendekatan beda hingga orde ketiga. Metode untuk menghitung dZ/dx dan dZ/dy ini berbeda terutama dalam jumlah dan bobot yang diberikannya pada sel di sekitar sel tengah. Empat sel terdekat diberi bobot lebih tinggi daripada sel "sudut", tetapi data dari kedelapan sel terdekat digunakan.

Beberapa metode lain telah dikembangkan yang lebih baik untuk menghitung kemiringan pada kondisi tertentu. Suatu metode dapat dinilai lebih baik bila, rata-rata, menghasilkan perkiraan kemiringan yang lebih akurat bila dibandingkan dengan pengukuran kemiringan lapangan yang dikumpulkan dengan cermat. Namun, tidak ada metode yang terbukti paling baik dalam semua kondisi medan.

Studi perbandingan telah menunjukkan dua metode yang dijelaskan di sini menjadi yang terbaik untuk menghitung kemiringan dan aspek ketika diterapkan pada berbagai kondisi. Metode yang menggunakan empat sel terdekat adalah salah satu yang terbaik untuk medan halus, dan pendekatan perbedaan hingga orde ke-3 sering kali di antara yang terbaik bila diterapkan pada medan kasar. Metode alternatif biasanya tidak lebih baik dari dua metode yang dijelaskan di atas.

Aspek juga merupakan variabel medan penting yang umumnya diturunkan dari data elevasi digital. Aspek digunakan untuk menentukan arah aliran air, untuk memperkirakan jumlah sinar matahari yang dapat diterima suatu situs, dan untuk menentukan bagian lanskap yang terlihat dari sudut pandang mana pun.

Aspek pada suatu titik adalah arah menurun yang paling curam. Arah biasanya dilaporkan sebagai sudut azimuth, dengan nol di arah grid utara, dan sudut azimuth meningkat searah jarum jam.

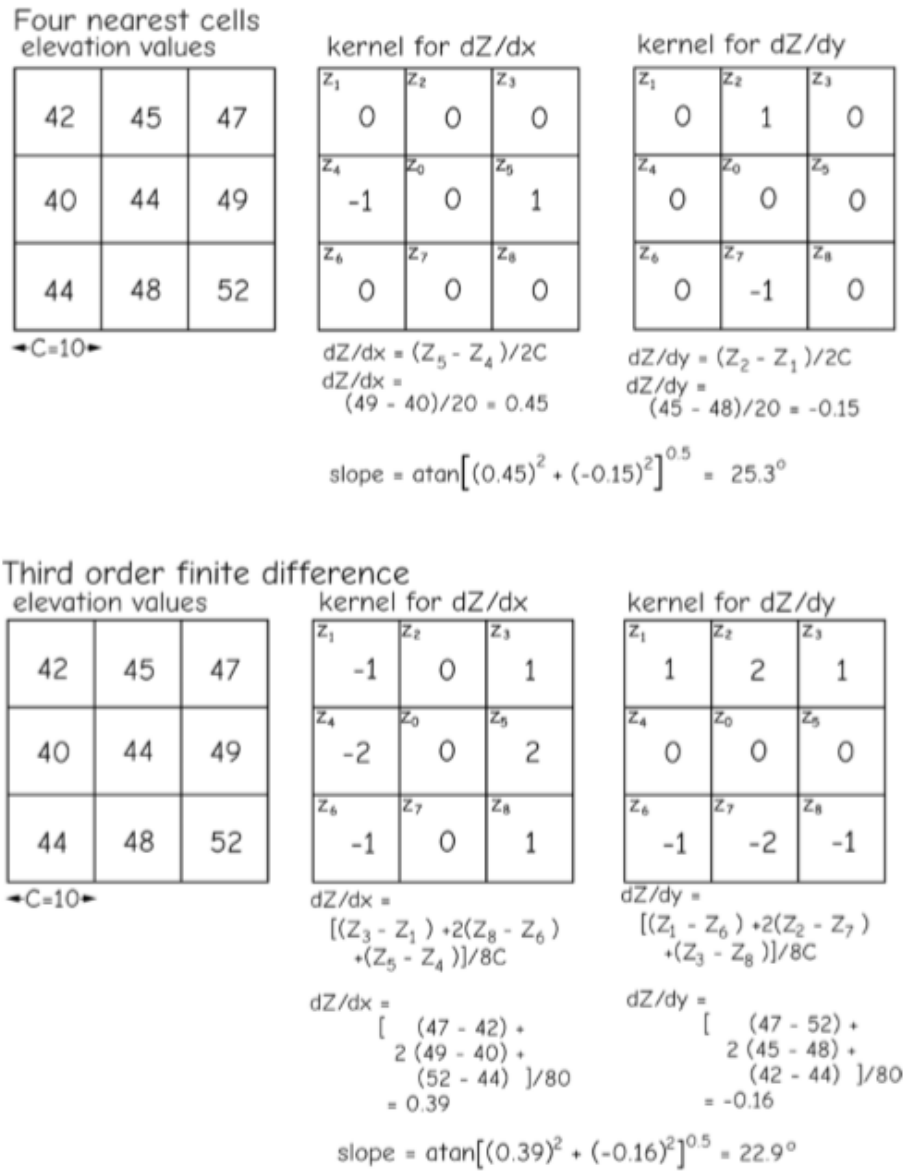
Aspek yang didefinisikan dengan cara ini mengambil nilai antara 0 dan 360 derajat. Daerah datar menurut definisi tidak memiliki aspek karena tidak ada arah menurun.

Aspek (α) paling sering dihitung menggunakan dZ/dx dan dZ/dy:

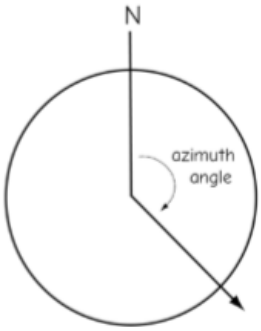
$$\alpha = 180 - busur\tan\left(\frac{\left(\frac{dZ}{dy}\right)}{\left(\frac{dZ}{dx}\right)}\right) + 90\left(\frac{\left(\frac{dZ}{dy}\right)}{\left|\frac{dZ}{dx}\right|}\right)$$

di mana atan adalah fungsi tangen terbalik yang mengembalikan derajat, dan dZ/dy dan dZ/dx didefinisikan seperti di atas.

Seperti halnya perhitungan kemiringan, aspek estimasi bervariasi dengan metode yang digunakan untuk menentukan dZ/dx dan dZ/dy. Pengujian telah menunjukkan empat sel terdekat dan metode perbedaan hingga urutan ketiga kembali menghasilkan di antara hasil yang paling akurat, dengan metode urutan ketiga di antara yang terbaik di bawah berbagai kondisi medan. Kelengkungan profil dan kelengkungan rencana adalah dua indeks topografi lokal lainnya yang penting dalam analisis medan dan dapat diturunkan dari data elevasi grid. Kelengkungan profil dan denah sangat membantu dalam mengukur dan memprediksi kadar air tanah, aliran permukaan, respons curah hujan-limpasan di daerah tangkapan air kecil, dan distribusi vegetasi.



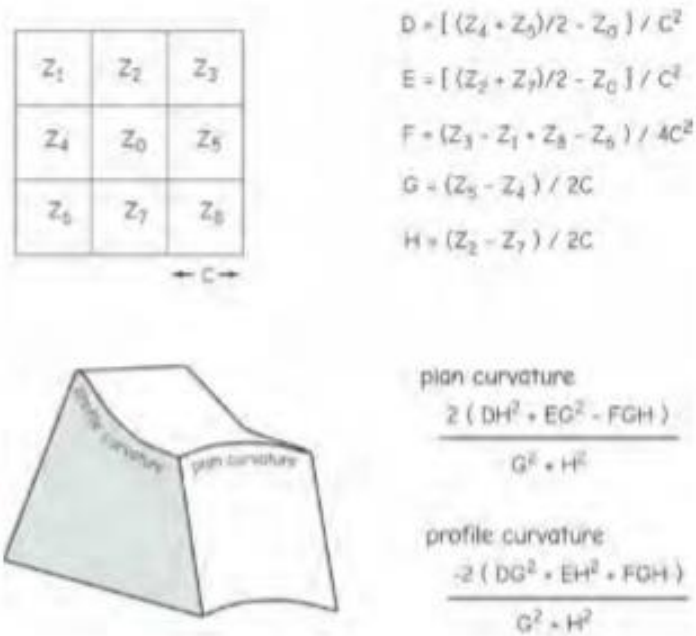
Gambar 11.5 : Empat sel terdekat (atas) dan metode beda hingga orde ketiga (bawah) digunakan dalam menghitung kemiringan. C adalah ukuran sel dan dZ/dx dan dZ/dy adalah perubahan elevasi (naik) dengan perubahan posisi horizontal (run). Perhatikan bahwa nilai kemiringan yang berbeda dihasilkan oleh metode yang berbeda.



Gambar 11.6: Aspek dapat dilaporkan sebagai sudut azimuth, diukur searah jarum jam dalam derajat dari utara.

Kelengkungan profil adalah indeks bentuk permukaan pada arah menurun yang paling curam. Kelengkungan profil dapat dibayangkan dengan membayangkan bidang vertikal, mengiris ke bawah ke permukaan bumi, dengan bidang yang berisi garis keturunan paling curam (arah aspek). Permukaan menelusuri jalan di sepanjang muka bidang ini, dan kelengkungan ditentukan oleh bentuk jalan ini. Nilai kelengkungan profil yang lebih kecil menunjukkan jalur cekung (berbentuk mangkuk) di arah menurun, dan nilai kelengkungan profil yang lebih besar menunjukkan bentuk cembung (memuncak) di arah menurun.

Catatan : konversi tanda, skala 0 hingga 100.

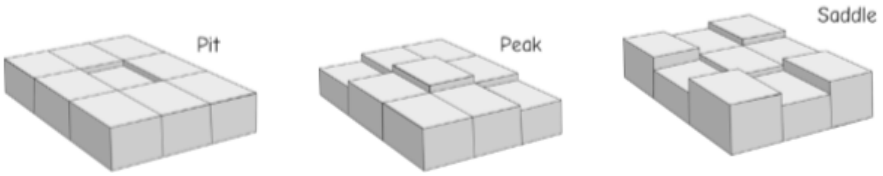


Gambar 11.7: Kelengkungan profil dan kelengkungan denah mengukur bentuk medan setempat. Mereka dihitung dengan menggabungkan nilai-nilai di sekitar sel pusat.

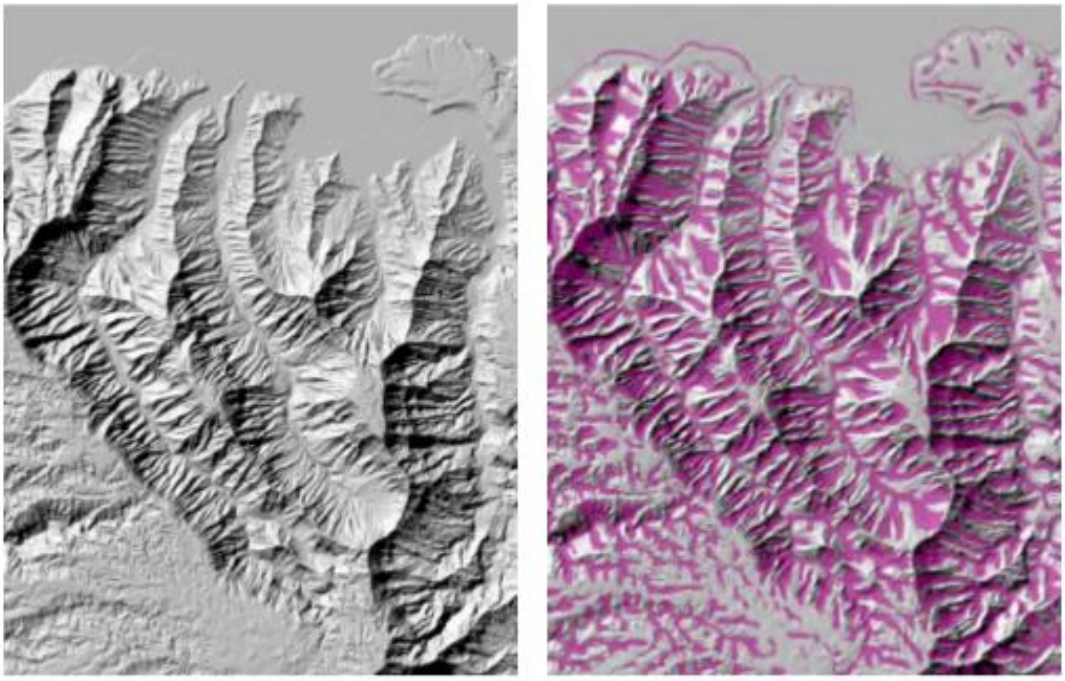
Kelengkungan rencana adalah bentuk profil dalam arah lokal level, tegak lurus ke arah paling curam. Ini berarti kelengkungan denah diukur pada sudut yang tepat terhadap kelengkungan profil. Kelengkungan bidang juga dapat dibayangkan sebagai bidang vertikal yang mengiris ke permukaan, tetapi dengan kelengkungan bidang bidang berpotongan pada sudut 90° ke arah kemiringan yang paling curam. Permukaan menelusuri jalan di muka pesawat, dan kelengkungan rencana adalah ukuran bentuk jalan itu. Nilai kelengkungan denah cekung kecil atau negatif untuk lembah miring atau celah, sedangkan nilai kelengkungan denah cembung di punggung bukit dan situs puncak besar atau positif.

Konsep bentuk medan terarah ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mengidentifikasi fitur medan atau morfometrik. Ini adalah elemen medan karakteristik termasuk pesawat, puncak, lintasan, pelana, saluran, punggung bukit, dan lubang. Masing-masing bentuk ini memiliki atribut medan tertentu yang sering mempengaruhi variabel spasial penting. Misalnya, tanah lebih tipis dan air lebih langka di punggung bukit dan puncak karena mereka cembung, sementara bahan menumpuk di lubang dan saluran.

Fitur medan dapat diidentifikasi dengan mengamati konveksitas dalam arah ortogonal, atau sudut siku-siku. Misalnya, puncak dicirikan oleh bentuk cembung di kedua arah x dan y, punggungan cembung di satu arah tetapi relatif datar di lain, sementara lubang cekung dalam arah ortogonal. Rumus yang mirip dengan Gambar 11-9 telah dikembangkan untuk mengukur konveksitas dan cekungan dalam arah ortogonal tertentu. Berbagai kombinasi kemudian dapat diterapkan untuk mengidentifikasi fitur medan.



Gambar 11.8: Jenis fitur morfometrik dapat ditentukan oleh ketinggian relatif, dan karenanya konveksitas terarah, dari sel-sel yang berdekatan (diadaptasi dari Jo Wood, 1996).



Gambar 11.9: Morfometeri medan, atau fitur morfometrik dapat diturunkan dari ukuran konveksitas terarah. Peta daerah pegunungan yang diarsir menunjukkan lembah dan saluran (kiri atas), yang diidentifikasi melalui analisis medan morfometrik dan ditampilkan sebagai daerah yang diarsir seragam, di kanan atas.

11.1.2 Fungsi Hidrologi

Model elevasi digital digunakan secara luas dalam analisis hidrologi. Air adalah dasar kehidupan, perdagangan, dan kenyamanan, dan ada investasi besar dalam pemantauan, pengumpulan, perlindungan, dan pengelolaan sumber daya air. Fungsi spasial diterapkan pada DEM untuk menghasilkan informasi penting tentang hidrologi.

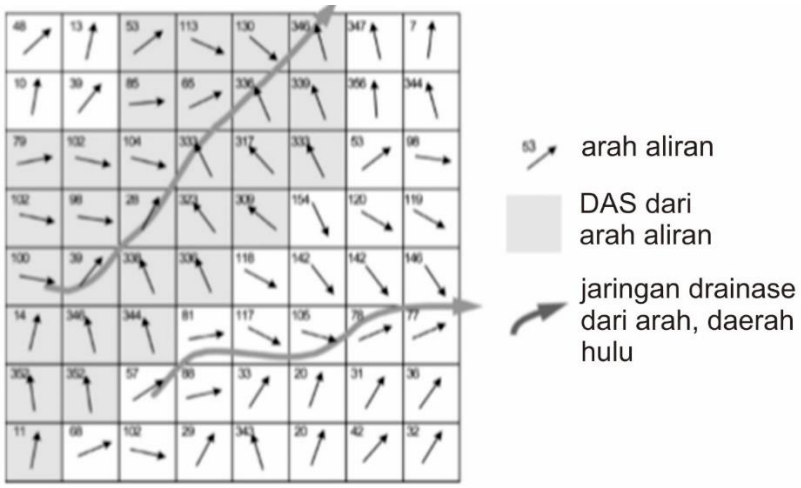
Gambar 11.10 : Jaringan drainase dan DAS yang berasal dari DEM.

DAS adalah area yang memberikan kontribusi aliran ke suatu titik di lanskap. Daerah aliran sungai dapat juga disebut cekungan, daerah penyumbang, daerah tangkapan air, drainase, dan anak sungai atau sub daerah tangkapan air. Daerah menanjak yang mengalir ke titik mana pun di lanskap adalah daerah aliran sungai untuk titik itu. Air yang jatuh di sembarang tempat di daerah hulu suatu DAS akan melewati titik tersebut. Daerah aliran sungai mungkin cukup kecil. Misalnya, DAS mungkin hanya mencakup beberapa meter persegi di punggung bukit atau lereng yang tinggi. Titik tinggi lokal memiliki daerah aliran sungai nol karena semua air mengalir keluar. Daerah aliran sungai mungkin juga cukup besar, termasuk daerah kontinental yang mengalirkan sungai-sungai besar seperti Sungai Amazon atau Sungai Mississippi. Setiap titik di saluran utama sungai besar memiliki DAS hulu yang besar.

Jaringan drainase, atau kumpulan anak sungai dan sungai dalam suatu DAS, seluruhnya terdapat di dalam DAS tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar,jaringan sungai menunjukkan pola dendritik, dengan aliran air yang lebih kecil bercabang dari segmen yang lebih besar saat salah satu bergerak ke hulu. Dasar jaringan drainase sering disebut titik tuang atau outlet.

Arah aliran digunakan dalam banyak analisis hidrologi. Arah aliran permukaan yang sebenarnya adalah jalur yang akan diambil air, jika dibuang secara berlebihan pada suatu titik sehingga menghasilkan aliran permukaan. Kelebihan air ini mengalir ke arah menurun yang paling curam, biasanya diatur setara dengan aspek lokal.

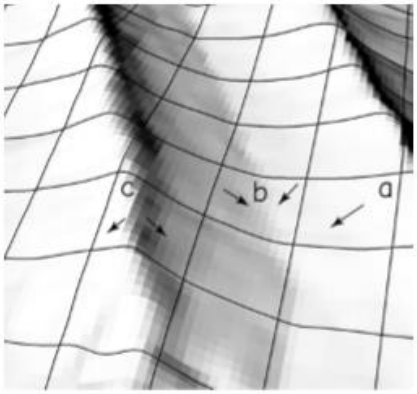
Penggunaan aspek untuk menentukan arah aliran dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi aliran, terutama di lingkungan yang hampir datar dan dibangun. Air mengalir baik di atas maupun di bawah permukaan; jika aliran bawah permukaan besar, mengabaikannya dapat menyebabkan kesalahan. Jika tanah memiliki permeabilitas yang berbeda, atau resistensi terhadap aliran, maka arah aliran bawah permukaan mungkin berbeda dari arah aliran permukaan. Di medan yang curam dan belum berkembang, ada gradien gravitasi lereng bawah yang kuat yang sering mendominasi, dan arah aliran permukaan dan bawah permukaan sering serupa, sehingga aspek memberikan perkiraan yang masuk akal untuk arah aliran keseluruhan. Di daerah datar atau hampir datar, permeabilitas tanah dapat mendominasi, menyebabkan arah aliran bawah permukaan dan permukaan yang berbeda. Parit, gorong-gorong, selokan badai yang terkubur, dan fitur buatan lainnya mengubah arah aliran dengan cara yang tidak diwakili oleh medan. Namun, drainase bawah permukaan dan fitur-fitur yang dibangun seringkali ditangani dengan modifikasi arah aliran terlebih dahulu berdasarkan bentuk permukaan. Arah aliran dapat dibayangkan sebagai semua aliran dari satu sel ke satu sel yang berdekatan, dan disimpan sebagai sudut kompas dalam layer data raster. Nilai yang dapat diterima adalah dari 0 hingga 360 jika sudut dinyatakan dalam derajat azimuth. Sebagai alternatif, arah aliran dapat disimpan sebagai angka yang menunjukkan sel yang berdekatan tempat air mengalir, dengan mengambil nilai dari 1 hingga 8 atau beberapa pengenal unik lainnya untuk setiap sel yang berdekatan.



Gambar 11.11: Arah aliran (panah, dan angka yang mencerminkan derajat azimuth), daerah aliran sungai, dan jaringan drainase ditampilkan untuk grid raster. Data elevasi digunakan untuk menentukan arah aliran untuk setiap sel. Arah aliran ini kemudian digunakan untuk menentukan sejumlah fungsi hidrologi yang penting.

Penggunaan arah aliran tunggal adalah representasi yang tidak lengkap pada puncak, beberapa punggung bukit, dan di daerah datar. Puncak dan pegunungan mungkin menunjukkan aliran yang berbeda, dalam berbagai arah keluar dari sel ke beberapa sel yang berdekatan. Aliran mungkin juga konvergen, dengan beberapa sel berkontribusi pada sel. Metode arah aliran yang paling umum memberikan satu arah untuk setiap sel, sehingga aliran divergen dan beberapa konvergen tidak terwakili. Salah satu solusi melibatkan perekaman arah aliran subsel untuk sel puncak atau sel bentang punggungan, tetapi ini mengarah pada struktur dan perhitungan raster yang lebih rumit. Meskipun mungkin lebih akurat dan disukai dalam banyak kondisi, sistem arah multiflow belum diterapkan secara luas. Pilihan yang lebih umum adalah menggunakan data raster beresolusi lebih tinggi, baik dari koleksi data primer

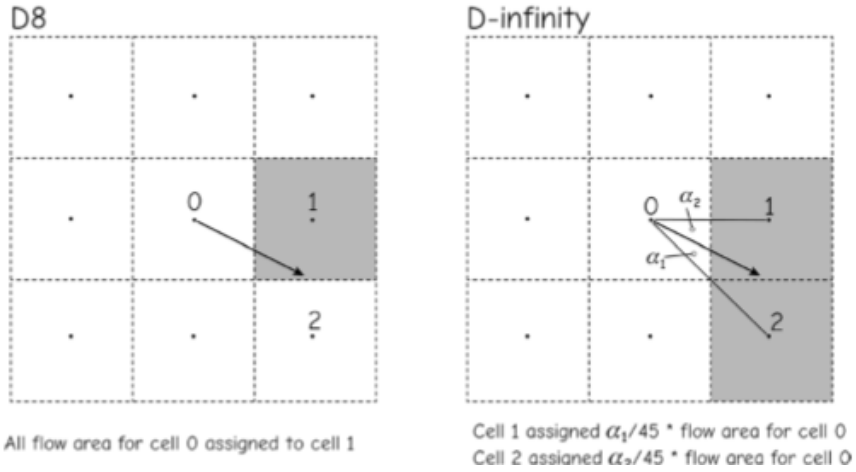
baru, atau dari interpolasi data yang ada. Ukuran sel raster harus cukup kecil sehingga divergensi atau konvergensi di dalam sel relatif kecil terhadap tujuan penelitian.



Gambar 11.12: Contoh aliran sederhana (a), konvergen (b), dan divergen (c).

Arah aliran di daerah datar juga dapat menyebabkan masalah. Aspek tidak terdefinisi di wilayah yang benar-benar datar, karena tidak ada gradien nol. Arah aliran dalam kasus ini ditentukan secara manual, atau aspek dihitung menggunakan ukuran sel atau lingkungan yang lebih besar. Lingkungan dapat diperluas secara berurutan sampai arah aliran yang jelas ditentukan.

Insisi vektor adalah metode umum lainnya untuk menentukan arah aliran di area datar. Jalur aliran vektor, misalnya, segmen aliran digital dilapis dengan raster, dan nilai raster dimodifikasi ke hilir sepanjang vektor untuk menentukan arah aliran yang sesuai. Paling sering, elevasi diturunkan secara berurutan di sepanjang jalur aliran, berhati-hati untuk tidak membuat wastafel di sepanjang atau di ujung jalur aliran.



Gambar 11.13 : Metode arah aliran D8 (kiri atas) menetapkan semua aliran ke pusat sel yang paling dekat dengan arah aliran (sel 1), sedangkan metode D-infinity mempartisi aliran ke dua sel yang paling dekat dengan arah aliran, sebanding dengan sudut arah aliran (sel 1 dan 2, kanan atas).

Ada berbagai cara untuk mendistribusikan aliran di antara sel-sel yang berdekatan. Metode D8 adalah umum, dan menetapkan semua aliran dari sel ke sel dengan gradien menurun paling curam. D8 mudah dipahami, diprogram, dan disimpan, tetapi sangat buruk dalam

merepresentasikan aliran dan aliran yang berbeda di area dengan gradien rendah. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan besar dalam pengukuran turunan seperti area kontribusi lereng atas atau indeks kelembaban tanah, dan menyebabkan jaringan drainase atipikal di area yang hampir datar. Raster arah aliran output yang diturunkan dari metode D8 dapat direpresentasikan dengan hanya 8 kode, memungkinkan layer data yang sederhana dan ringkas.

Metode arah aliran alternatif dapat menetapkan aliran ke beberapa sel, dan karenanya mewakili beberapa bentuk aliran divergen. Salah satu metode umum, yang dikenal sebagai D-tak terhingga, mendistribusikan aliran ke satu sel lereng bawah ketika arah aliran tepat menuju pusat sel, dan sebaliknya memberikan sebagian aliran ke masing-masing dari dua sel yang berdekatan di arah lereng bawah. Pemisahan sebanding dengan sudut antara arah lereng paling curam dan pusat sel masing-masing. Ini mengurangi kelemahan utama metode D8, sementara sedikit meningkatkan kerumitan.

Daerah akumulasi aliran, daerah penyumbang, atau daerah lereng merupakan karakteristik hidrologi penting lainnya. Fungsi area akumulasi aliran didasarkan pada permukaan arah aliran, dan biasanya mengembalikan nilai ke setiap sel yang sama dengan area yang mengalir melalui sel itu. Akibatnya, daerah aliran sungai untuk setiap sel dicatat sebagai nilai sel.

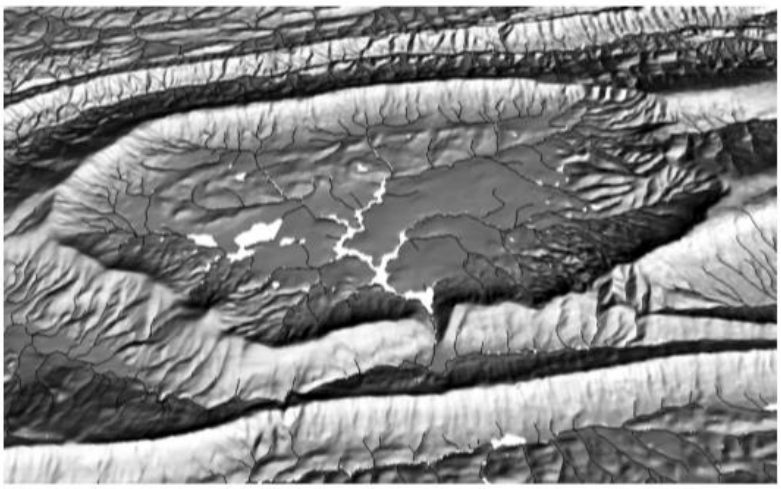
Daerah lereng atas dapat dihitung dengan beberapa cara. Mungkin yang paling sederhana untuk dipahami adalah berdasarkan identifikasi semua titik tinggi lokal, atau elevasi maksimum, memilih satu untuk memulai, kemudian menjumlahkan area saat seseorang bergerak menuruni lereng sampai batas area studi tercapai. Maksima kedua dipilih dan area terakumulasi saat seseorang bergerak menuruni lereng, menambah area yang terakumulasi lagi dari sel sebelumnya. Proses ini diulang untuk semua titik tinggi lokal.

Daerah aliran sungai dapat diidentifikasi setelah permukaan arah aliran telah ditentukan Arah aliran diikuti "menanjak" dari suatu titik, sampai puncak tercapai. Setiap sel menanjak mungkin memiliki banyak sel yang berkontribusi, dan aliran ke masing-masing sel ini juga diikuti menanjak. Daftar menanjak diakumulasikan secara rekursif sampai semua sel yang berkontribusi pada suatu titik telah diidentifikasi, dan dengan demikian DAS didefinisikan.

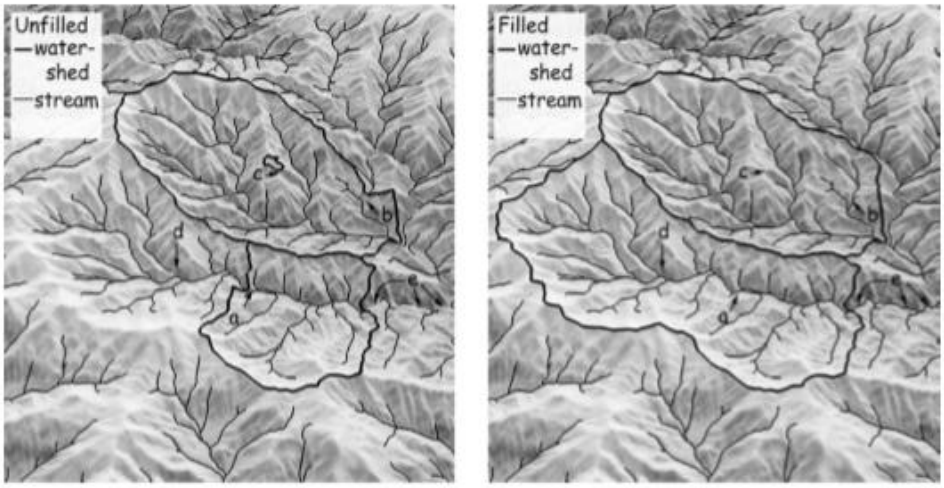
Jaringan drainase adalah kumpulan sel tempat air permukaan mengalir. Jaringan drainase juga didasarkan pada arah aliran permukaan. Aliran, anak sungai, dan sungai terjadi di mana arah aliran bertemu. Dengan demikian, arah aliran dapat digunakan untuk menghasilkan peta kemungkinan lokasi aliran, sebelum pemetaan lapangan aliran. Jaringan drainase dapat secara sederhana didefinisikan sebagai sel apa pun yang memiliki DAS yang berkontribusi lebih besar dari beberapa area ambang batas yang ditentukan secara lokal. Jaringan drainase ini hanya perkiraan, karena jaringan drainase yang ditentukan dengan cara ini tidak memasukkan sifat-sifat bawah permukaan seperti tekstur tanah, kedalaman, porositas, atau pergerakan air bawah tanah. Meskipun demikian, jaringan drainase yang berasal dari data medan saja seringkali merupakan pendekatan pertama yang berguna. Daerah aliran sungai untuk setiap sel dapat dihitung, dan daerah tersebut dibandingkan dengan daerah ambang batas. Sel ditandai sebagai bagian dari jaringan drainase jika area tersebut melampaui ambang batas.

Kesalahan acak dalam nilai elevasi DEM sering membuat lubang palsu (juga dikenal sebagai sink). Lubang adalah sel yang lebih rendah dari semua sel di sekitarnya, dan sering menimbulkan masalah saat menentukan arah aliran. Sel-sel pit tidak memiliki arah keluar yang

paling curam, sehingga air mengalir masuk, tetapi tidak keluar. Lubang mungkin ada di permukaan medan nyata, misalnya, di daerah karst di mana lubang runtuhan terjadi di permukaan karena gua bawah tanah yang runtuh. Dalam kasus ini, daerah aliran sungai mungkin tidak memiliki saluran keluar, dan aliran sungai dapat menghilang secara teratur di bawah tanah. Lubang juga umum di daerah topografi yang kacau, misalnya, di dataran yang relatif datar, baru-baru ini mengalami glasiasi di Minnesota, Wisconsin, dan sebagian besar Kanada tengah, tetapi di sebagian besar daerah lain, lubang adalah artefak data, dan tidak mewakili geografi nyata.



Gambar 11.14: Contoh pit atau sink yang disebabkan oleh kesalahan DEM. Area berwarna terang di sepanjang jalur drainase menunjukkan depresi lokal yang merupakan artefak kesalahan data, dan tidak ada di lanskap. Jaringan drainase dan DAS berdasarkan DEM yang tidak terisi akan salah, karena arah aliran berdasarkan DEM akan masuk ke dalam di semua pit.



Gambar 11.15: Daerah aliran sungai dan jaringan sungai yang digambarkan dari DEM tanpa syarat (kiri) sering mengakibatkan hilangnya segmen aliran, ditunjukkan pada a, b, d, dan e, dan DAS yang tidak lengkap (di atas a dan b, dan di c).

Lubang palsu ditemukan di sebagian besar DEM karena kesalahan acak kecil. Misalnya, data DEM yang dikumpulkan dari pemetaan LiDAR sering kali memiliki jejak tanah yang kecil, dan

dapat mengambil sampel fitur kecil yang berada di atas permukaan tanah sekitarnya. Gambar laser di atas ladang yang baru saja dibajak dapat mengembalikan ketinggian tempat untuk gundukan dan alur lokal, tanaman yang dipanen tidak lengkap, dan mesin pertanian. Batang kayu atau semak belukar yang lebat di jurang yang curam mungkin salah diidentifikasi sebagai permukaan tanah, menciptakan penghalang dalam data yang tidak mewakili kondisi sebenarnya. Lubang dapat berupa artefak metode interpolasi yang digunakan untuk mengisi nilai grid di lokasi yang tidak diambil sampelnya. Pemrosesan pasca bertujuan untuk menghapus pembacaan palsu ini, tetapi tetap saja umum.

Lubang dapat menyebabkan masalah pada permukaan datar atau dasar lembah setempat, atau di sepanjang saluran drainase. Banyak fungsi hidrologi memberikan hasil yang salah di dekat lubang, sehingga lubang sering kali harus dihilangkan sebelum analisis lebih lanjut. Arah aliran dan fungsi akumulasi aliran, dijelaskan sebelumnya, sering mengembalikan hasil yang salah, terutama ketika lubang jatuh di sepanjang aliran air. Jaringan drainase tidak lengkap, nilai akumulasi aliran terlalu rendah, dan daerah aliran sungai mungkin tidak teridentifikasi dengan benar ketika lubang ditemukan.

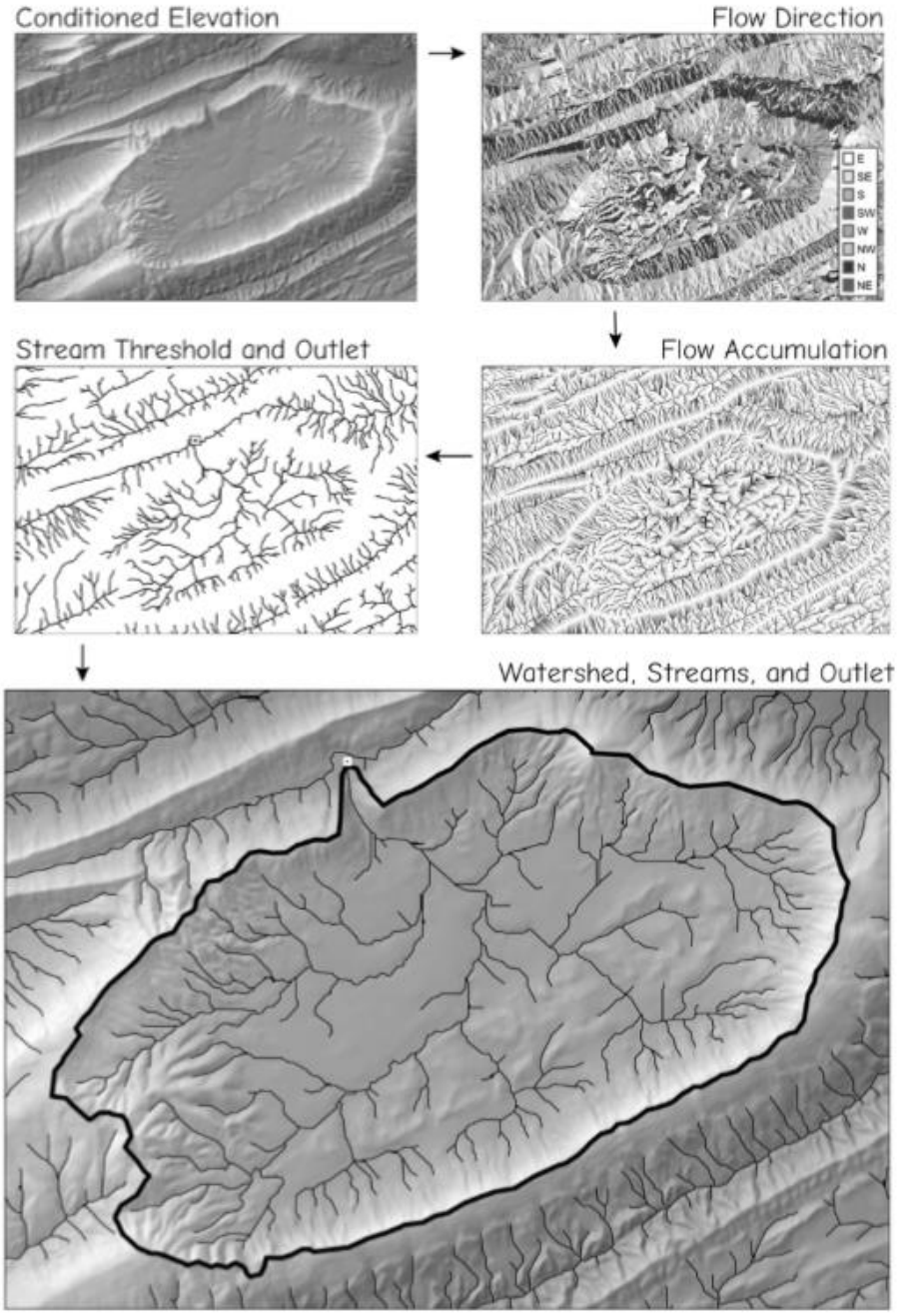
DEM harus "dikondisikan" untuk menghilangkan depresi yang salah. Ini melibatkan identifikasi lubang, diikuti dengan mengisi atau memotong sel hilir untuk membuang lubang. Ambang batas sering ditentukan di bawah lubang yang tidak dihilangkan. Ambang batas ini biasanya lebih besar daripada kesalahan vertikal umum dalam data, tetapi juga lebih kecil dari kedalaman lubang "di lapangan" yang sebenarnya. Lubang yang diketahui dapat diidentifikasi sebelum proses pengisian, dan ini kemudian dibiarkan tidak terisi. Setelah lubang palsu dihilangkan, pemrosesan lebih lanjut untuk mengidentifikasi daerah aliran sungai dan jaringan drainase dapat dilanjutkan.

Untuk meninjau, langkah-langkah untuk mengidentifikasi DAS dari DEM ditunjukkan pada Gambar diatas. DEM dikondisikan, sesuai kebutuhan, dan kemudian arah aliran, akumulasi, ambang aliran, dan batas DAS dihitung. Metode pemindahan dan metode akumulasi aliran yang berbeda dapat menghasilkan lokasi aliran yang sedikit berbeda dan, dalam beberapa kasus, batas DAS.

Lubang umumnya dihilangkan melalui proses pengisian, penembusan (atau pemotongan), atau kombinasi keduanya. Proses pengisian menaikkan nilai depresi lokal sampai semua nilai sel setidaknya sama dengan nilai pada "rim" lokal atau tepi depresi. Hal ini dapat membuat permukaan datar, tanpa arah drainase yang jelas, sehingga beberapa varian dari proses pengisian menambahkan kemiringan kecil di atas area timbunan yang besar untuk memastikan drainase menuju arah yang menurun. Lubang juga dapat dihilangkan melalui proses penerobosan, di mana sel di sepanjang gradien paling curam dihilangkan, mencari area sekitar yang lebih besar untuk mengidentifikasi jalur paling curam.

Penerobosan terkadang lebih mencerminkan jalur drainase yang sebenarnya daripada urugan, dan dapat menghasilkan lanskap yang lebih “alami”. Ini sering tergantung pada sifat depresi, apakah itu karena nilai elevasi rendah yang palsu, kecil, terisolasi (isi biasanya lebih disukai untuk pengkondisian), atau fitur linier yang sempit, tinggi, sering dibangun dan dengan gorong-gorong atau bawah permukaan lainnya. cara drainase (pelanggaran biasanya lebih disukai untuk pengkondisian). Sayangnya, banyak perangkat lunak GIS tidak menyediakan fungsi pelanggaran, meskipun semakin berguna untuk DEM resolusi tinggi berdasarkan LiDAR di daerah perkotaan atau kawasan terbangun.

Drainase dan geografi DAS yang disimpulkan dari analisis medan sangat bergantung pada algoritme yang digunakan, terutama untuk arah aliran, sehingga harus berhati-hati dalam mengidentifikasi metode dan ambang batas yang memberikan hasil yang cukup akurat untuk tugas yang dimaksud. Banyak perangkat lunak hanya menyediakan pengisian depresi, dan arah aliran D8, dan sering kali menghasilkan jalur aliran yang salah, terutama di medan datar atau hampir datar. Jangkauan terluas dari hidrologi umum dan alat analisis medan umum saat ini disediakan oleh dua paket nonkomersial, Whitebox GAT, dikembangkan dan dikelola oleh John Lindsay di Universitas Guelph, dan SAGA GIS, sebuah proyek sumber terbuka yang awalnya dikembangkan di Universitas Göttingen, meskipun tampaknya fungsi tersebut sekarang didukung melalui proyek sumber terbuka QGIS. Alat-alat ini lebih komprehensif daripada kebanyakan perangkat lunak komersial, dan harus dievaluasi untuk banyak, jika tidak sebagian besar proyek pemrosesan medan.

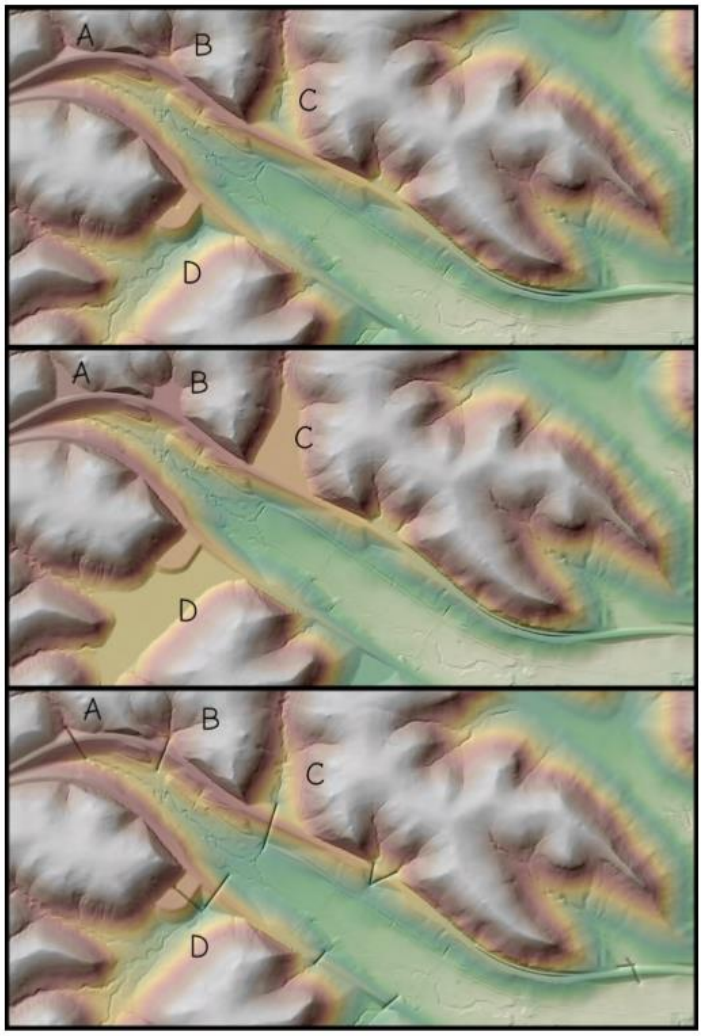


Gambar 11.16: Contoh langkah-langkah yang diperlukan untuk membuat fitur jaringan DAS dan drainase dari model elevasi digital.

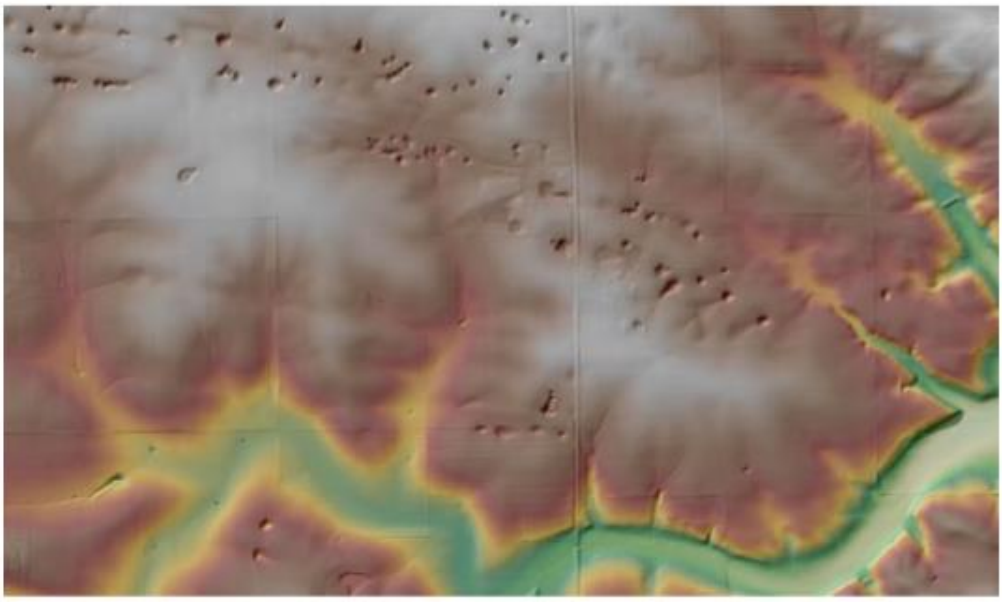
Tidak semua lubang atau cekungan harus diisi atau ditembus, (Gambar 11-21) dan ini semakin benar seiring dengan meningkatnya akurasi dan resolusi DEM. Banyak lanskap umumnya memiliki cekungan, misalnya, geologi karst atau glasiasi, dan cekungan yang dibangun seperti taman hujan atau kolam tangkapan adalah fitur umum dari lanskap yang dikembangkan. Pengisian atau penembusan sembarangan dapat membuat jalur aliran yang tidak ada, jadi pengkondisian DEM dan ambang batas harus digunakan dengan hati-hati, sesuai dengan medan yang dianalisis.

Condition DEM
↓
Flow Direction
↓
Flow Accumulation
↓
Stream Threshold
↓
Place Outlets
↓
Watershed

Gambar 11.17 : Langkah-langkah khas dalam delineasi DAS dan sungai.



Gambar 11.18 : DEM (atas) dengan sink besar di A sampai D sebagai akibat dari tanggul jalan raya, dengan beberapa sink yang lebih kecil di lokasi lain. Sink dihilangkan dengan proses pengisian (tengah), atau pelanggaran (bawah). Pelanggaran menghasilkan permukaan keluaran yang lebih akurat untuk sebagian besar aplikasi.



Gambar : Contoh depresi nyata dalam lanskap, di sini, di lanskap karst di tenggara Minnesota. Pelanggaran atau pengisian sembarangan dapat menghilangkan fitur-fitur ini, yang mengarah ke jalur aliran yang salah, daerah aliran sungai, atau nilai turunan lainnya. Pengkondisian DEM harus diterapkan dengan cara yang sesuai dengan medan dan tujuan analitis.

Beberapa indeks hidrologi lainnya telah dikembangkan untuk mengidentifikasi posisi medan yang konvergen atau divergen secara lokal, atau morfometer medan yang terkait dengan hidrografi. Indeks ini digunakan dalam banyak analisis topografi dan hidrologi berikutnya, seperti memprediksi komposisi atau pertumbuhan komunitas tumbuhan, pemodelan erosi, atau memperkirakan curah hujan yang diperlukan untuk memenuhi suatu area dan memprediksi kemungkinan dan intensitas banjir.

Area tangkapan spesifik (SCA) didefinisikan sebagai total area yang mengalir ke suatu titik relatif terhadap lebar drainase, dalam kumpulan data raster yang dihitung sebagai

$$SCA = AREA/C$$

di mana AREA adalah akumulasi luas permukaan hulu dari suatu titik, dan C adalah dimensi sel raster. Indeks daya aliran (SPI) didefinisikan sebagai:

$$SPI = SCA * \tan(b)$$

di mana b adalah kemiringan pada suatu titik, dan SCA seperti yang didefinisikan di atas. SPI digunakan untuk mengidentifikasi potensi erosi pada suatu titik, yang bergantung pada daerah hulu dan karenanya kemampuan untuk mengumpulkan air, dan kemiringan setempat, yang mendorong energi erosif dalam aliran air.

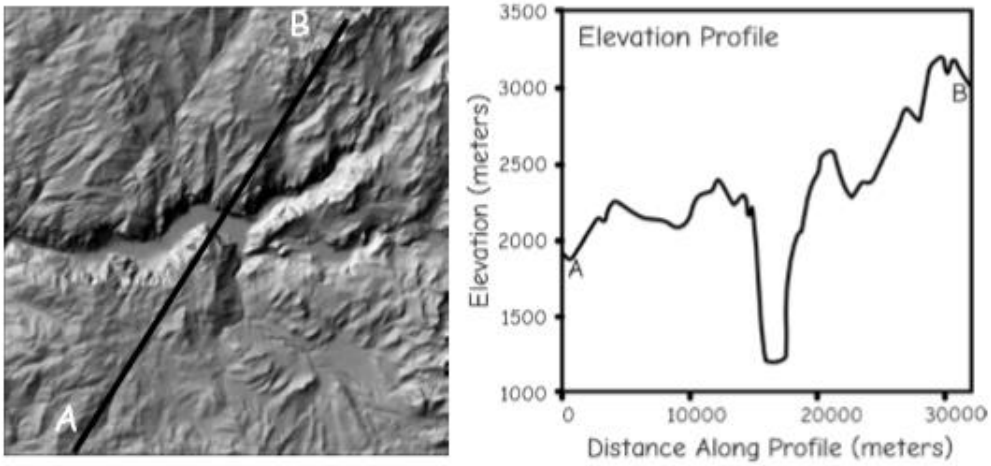
Mungkin indeks kebasahan yang paling umum diterapkan dihitung dengan:

$$w = In\left(\frac{SCA}{tan\beta}\right)$$

di mana w adalah indeks kebasahan pada sel, SCA adalah daerah tangkapan air spesifik, dan adalah kemiringan pada sel. Indeks ini telah terbukti secara efektif mewakili peningkatan kebasahan tanah karena daerah lereng yang luas dan lereng yang rendah, terutama bila dikombinasikan dengan pengukuran kelengkungan rencana dan kelengkungan profil. Faktor-faktor ini mengurutkan medan di sepanjang gradien ridge-to-stream dan cembung-ke-cekung.

11.1.3 Plot Profil

Plot profil adalah turunan umum lainnya dari data elevasi. Plot ini mengambil sampel elevasi di sepanjang jalur profil linier, dan menampilkan elevasi terhadap jarak dalam grafik. Ketinggian biasanya diplot pada sumbu y, dan jarak horizontal pada sumbu x Plot profil ini membantu dalam memvisualisasikan perubahan elevasi, kemiringan, dan jarak perjalanan kumulatif di sepanjang jalur profil tertentu. Plot profil umum di tepi peta, terutama peta rute off-road, sepeda, atau lintas negara.



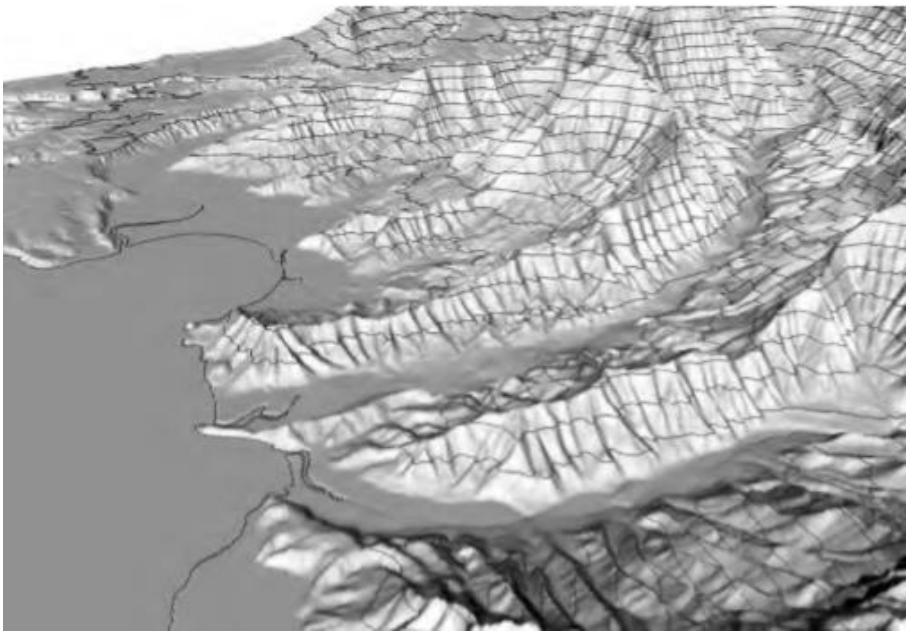
Gambar 11.19: Contoh plot profil. Jalur profil ditampilkan pada gambar relief berbayang (kiri), dengan titik awal A dan titik akhir B. Plot profil ditampilkan di sebelah kanan, dengan titik awal dan akhir yang sesuai. Plot menunjukkan perubahan ketinggian di sepanjang jalan. Perhatikan bahwa perbesaran vertikal di sini kira-kira 9 banding 1.

Plot profil sering memiliki beberapa tingkat berlebihan vertikal. Pembesaran vertikal adalah faktor penskalaan yang diterapkan pada data elevasi saat ditunjukkan pada grafik. Misalnya, Gambar diatas menunjukkan grafik persegi yang menggambarkan sekitar 31 km melintasi permukaan bumi. Sumbu elevasi vertikal membentang sekitar 2,5 km di atas dimensi yang sama pada grafik. Ini adalah berlebihan vertikal sekitar 12 (dari 31/ 2.5). Faktor yang dilebih-lebihkan diperlukan karena kenaikan elevasi vertikal umumnya relatif kecil terhadap jarak horizontal yang ditempuh.

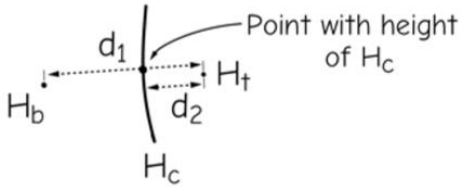
11.1.4 Garis Kontur

Garis kontur, atau kontur topografi, adalah garis-garis elevasi seragam yang terhubung yang membentang tegak lurus terhadap lereng setempat. Garis kontur adalah fitur umum pada banyak seri peta; misalnya, mereka digambarkan pada seri nasional skala 1:24.000 USGS, dan

peta Survei Ordonansi 1:50.000 Inggris. Bentuk dan kerapatan garis kontur memberikan informasi rinci tentang ketinggian dan bentuk medan dalam peta dua dimensi, tanpa perlu bayangan nada terus menerus. Kedua warna dan pencetakan nada terus menerus merupakan batasan penting bagi kartografer masa lalu. Garis kontur dapat dengan mudah digambar dengan alat menggambar sederhana. Meskipun pencetakan nada berkelanjutan jauh lebih murah saat ini, kontur akan tetap umum karena telah memasuki budaya pembuatan peta dan pembacaan peta.



Gambar 11.20 : Kontur mewakili garis elevasi yang seragam. Render ini menunjukkan garis kontur mulai dari permukaan laut, di sebelah kiri, dan terus ke atas pada interval kontur 100 meter.



Penempatan kontur:

Sebuah kontur melewati nilai ketinggian Hc pada titik-titik dengan ketinggian Gb, Ht (lihat di atas). Di sini, kami memastikan Hb < Ht. Titik tersebut berada pada jarak terhitung d2, seperti terlihat pada diagram di atas, menurut rumus :

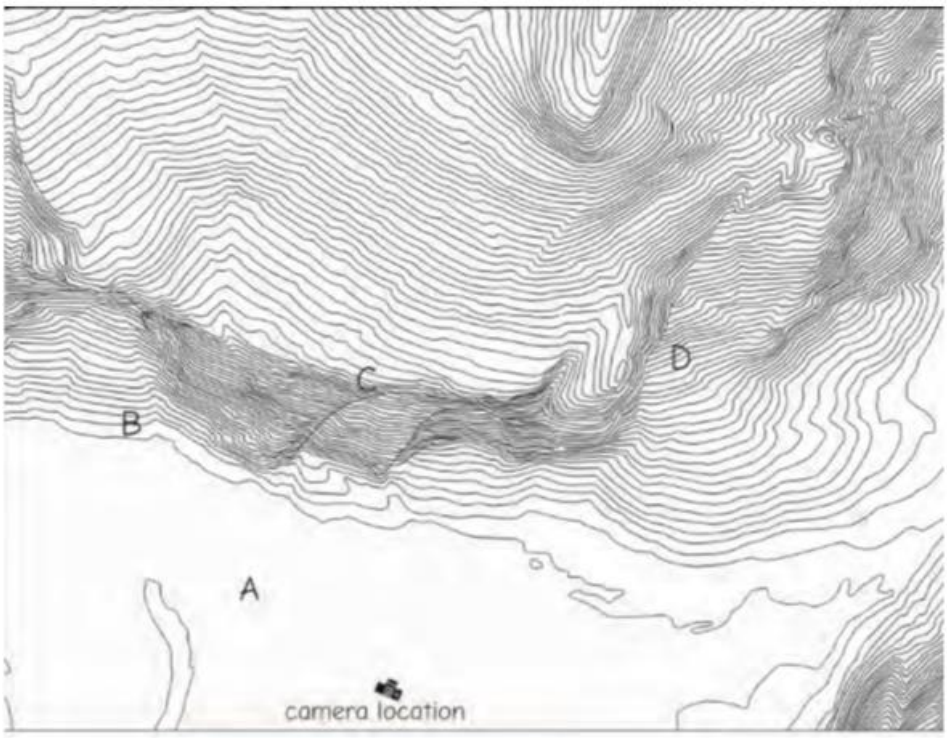
$$d_2 = d_1 * \frac{H_t - H_c}{H_t - H_b}$$

Gambar : Lokasi garis kontur sering kali diperkirakan dari lokasi ketinggian titik, sebagai proporsi linier dari perbedaan ketinggian dan jarak antar titik.

Beberapa metode yang cepat dan efisien telah dikembangkan untuk menghitung kontur, baik dari titik atau dari data grid. Peta kontur awal dan DEM dikembangkan dari pengukuran

ketinggian pada sekumpulan titik. Meskipun berguna, titik-titik ini tidak memberikan gambaran ketinggian yang jelas.

Garis kontur nilai tetap diinterpolasi secara linier antara titik pengukuran terdekat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar diatas. Metode pengukuran selanjutnya mengidentifikasi garis kontur langsung dari stereopairs, atau menurunkannya dari raster yang diproduksi secara mekanis atau elektronik. Generasi raster ke kontur juga biasanya mengikuti interpolasi linier. Untuk raster, pusat sel yang berdekatan yang sesuai dipilih, dan nilai kontur diinterpolasi seperti yang diilustrasikan pada Gambar.



Gambar 11.21: Kontur dapat menggambarkan fitur medan secara ringkas, seperti yang ditunjukkan pada peta kontur ini, melihat secara vertikal ke bawah pada area yang kira-kira ditunjukkan pada foto, di sebelah kiri. Gambar tersebut termasuk Royal Arches dan North Dome, dari Yosemite Valley, California. Perubahan kemiringan, tebing, overhang, dan puncak semuanya secara ringkas diwakili oleh garis kontur.

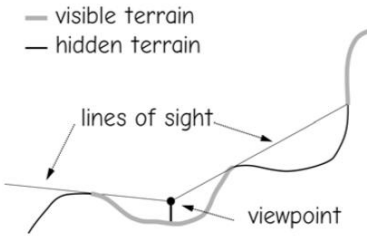
Garis kontur biasanya dibuat pada interval ketinggian tetap, misalnya, setiap 30 m (100 kaki) dari ketinggian dasar. Karena setiap garis mewakili elevasi tetap di atas atau di bawah garis yang berdekatan, kerapatan garis kontur menunjukkan medan kecuraman. Titik A pada Gambar berada di daerah datar (latar depan foto, di bawah), di mana elevasinya tidak banyak berubah, dan garis konturnya sedikit. Daerah curam digambarkan dengan peningkatan kerapatan kontur, seperti yang ditunjukkan pada titik B, dengan perubahan kecuraman digambarkan oleh perubahan kerapatan (di atas dan di bawah titik C). Perhatikan bahwa kontur dapat secara ringkas mewakili struktur medan yang kompleks, seperti lengkungan melengkung di tengah foto, dan ditunjukkan di bawah titik C, dan tebing yang menjorok, di sebelah kiri titik D.

Sampai saat ini garis kontur paling sering dibuat dengan interpretasi langsung dari airphoto stereopairs. Banyak peta kontur sekarang dikembangkan melalui estimasi dari data DEM berbasis grid, atau dari pengukuran ketinggian tempat dengan survei lapangan atau LiDAR.

11.1.5 Jarak pandang

Jarak pandang untuk suatu titik adalah kumpulan area yang terlihat dari titik itu. Pemandangan dari banyak lokasi terhalang oleh medan. Ketinggian akan menyembunyikan titik jika elevasi lebih tinggi dari garis pandang antara titik pandang dan titik target.

Jarak pandang dan analisis visibilitas cukup penting dalam banyak kasus. Saluran listrik bertegangan tinggi atau menara seluler sering ditempatkan setelah mempertimbangkan visibilitasnya dengan cermat, karena kebanyakan orang enggan melihatnya. Antena komunikasi, kompleks industri besar, dan jalan sering ditempatkan setidaknya sebagian berdasarkan visibilitasnya, dan jarak pandang secara khusus dikelola untuk banyak taman dan area pemandangan.



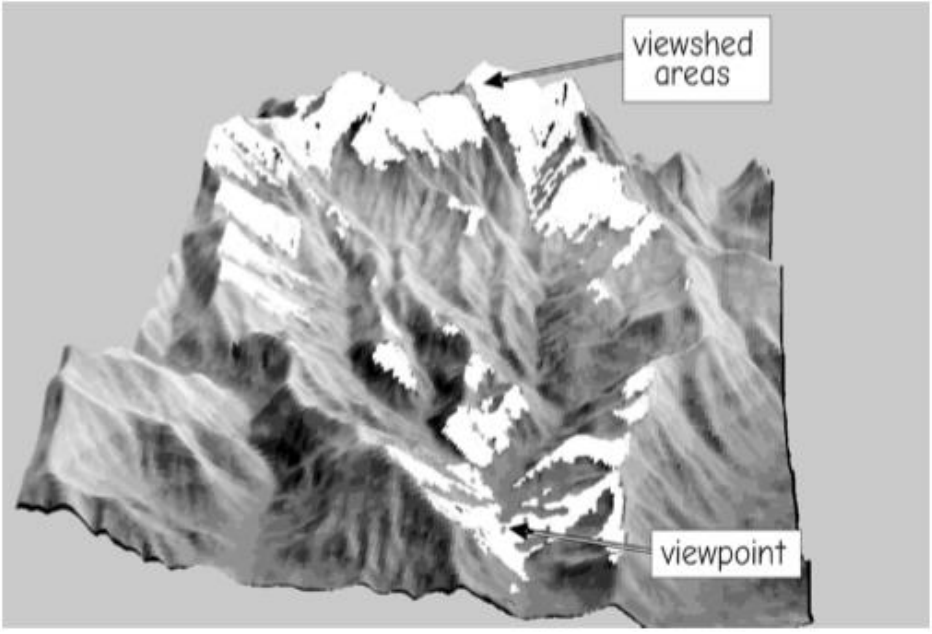
Gambar 11.22: Mekanisme mendefinisikan jarak pandang.

Jarak pandang dihitung berdasarkan intervisibilitas sel ke sel. Garis pandang ditarik antara sel tampilan dan sel target yang berpotensi terlihat. Ketinggian garis pandang ini dihitung untuk setiap sel intervensi. Jika kemiringan ke sel target lebih kecil dari kemiringan ke sel yang lebih dekat ke sudut pandang di sepanjang garis pandang, maka: sel target tidak terlihat dari sudut pandang. Algoritme khusus telah dikembangkan untuk secara substansial mengurangi waktu yang diperlukan untuk menghitung jarak pandang, tetapi dalam konsep garis pandang ditarik

dari setiap sudut pandang ke setiap sel dalam data elevasi digital. Jika tidak ada medan yang menghalangi, sel diklasifikasikan sebagai terlihat. Klasifikasi tersebut mengidentifikasi area yang terlihat dan area yang tersembunyi. Jarak pandang untuk fitur garis atau area adalah akumulasi jarak pandang dari semua sel dalam fitur tersebut.

11.1.6 Peta Relief Berbayang

Peta relief berbayang, juga sering disebut sebagai peta hillshade, adalah penggambaran kecerahan pantulan medan yang diberikan permukaan medan dan lokasi matahari. Meskipun peta relief berbayang jarang digunakan dalam analisis, peta tersebut merupakan salah satu cara paling efektif untuk mengkomunikasikan bentuk dan struktur fitur medan, dan banyak peta menyertakan bayangan relief.



Gambar 11.23: Contoh sudut pandang, dan jarak pandang terkait.

Peta relief berbayang dikembangkan dari data elevasi digital dan model pemantulan cahaya. Matahari buatan "diposisikan" di lokasi di langit dan sinar cahaya diproyeksikan ke permukaan yang digambarkan oleh data ketinggian. Cahaya dimodelkan yang menyerang permukaan baik sebagai sinar langsung, dari matahari ke permukaan, atau dari sinar matahari "difusi" latar belakang. Cahaya difus dihamburkan oleh atmosfer, dan menerangi area "berbayang", meskipun iluminasi biasanya jauh lebih sedikit daripada yang berasal dari sinar langsung.

Kecerahan sel tergantung pada sudut datang lokal, sudut antara sinar cahaya yang masuk dan permukaan normal Normal permukaan didefinisikan sebagai garis yang tegak lurus terhadap permukaan lokal. Sinar matahari langsung mengenai permukaan pada sudut yang tepat ($\theta=0$) memberikan pengembalian paling terang, dan karenanya tampak cahaya. Saat θ meningkat, sudut antara sinar langsung dan permukaan tanah menyimpang dari tegak lurus, dan kecerahan berkurang. Sinar matahari yang menyebar saja memberikan pengembalian yang relatif lemah, dan karenanya tampak gelap.

Perhitungan relief permukaan yang diarsir memerlukan penentuan posisi matahari, biasanya melalui sudut zenith matahari, diukur dari vertikal ke bawah ke lokasi matahari, dan sudut

azimuth matahari, diukur dari utara searah jarum jam ke posisi matahari. Kemiringan lokal dan azimuth permukaan menentukan arah normal permukaan. Sebuah sudut dapat ditentukan antara arah matahari dan arah normal permukaan, ditunjukkan sebagai pada Gambar. Seperti disebutkan sebelumnya, jumlah energi yang dipantulkan berkurang dengan meningkatnya , dan ini dapat ditunjukkan sebagai berbagai warna abu-abu di permukaan bukit.

Peta relief berbayang juga memerlukan perhitungan visibilitas, seringkali sebelum menghitung reflektansi. Visibilitas ke matahari ditentukan; jika sel terlihat dari matahari, nilai kemiringan dan aspek digunakan untuk menetapkan kecerahan sel.

11.1.7 Software Analisis Medan

Analisis medan dan manajemen dan analisis data DEM cukup penting untuk disertakan dalam sebagian besar paket GIS tujuan umum, termasuk ArcGIS, GRASS, ERDAS, Idrisi, dan Manifold. Meskipun mendukung rangkaian analisis medan dan hidrologi yang paling umum, tidak satu pun dari paket ini yang mencakup berbagai fungsi pemrosesan dan analisis medan terluas. Analisis khusus sering dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak dengan fokus khusus pada analisis medan. Ini sering merupakan alat eksperimental, yang dikembangkan oleh universitas, dan dirancang untuk menangani berbagai fungsi analisis medan, misalnya, Sistem Analisis Medan (TAS) dari Universitas Guelph, atau alat komersial, yang ditulis oleh organisasi swasta dengan sangat fokus sempit, misalnya Watershed Modeling System (WMS) oleh Scientific Software Group.

Whitebox GAT berisi apa yang kemungkinan merupakan rangkaian fungsi analisis medan yang paling komprehensif dalam paket yang tersedia secara gratis. Dukungan sangat kuat untuk pengolahan dan analisis hidrologi permukaan dan link sungai, dengan fungsi untuk menghitung berbagai arah aliran, akumulasi, dan metode delineasi DAS yang biasanya tidak didukung oleh paket lain. Modifikasi medan dasar, input dan pemrosesan data LiDAR, dan fungsi GIS raster umum juga didukung.

Landserf adalah paket dengan dukungan yang sangat kuat untuk bentuk medan dan analisis geomorfologi, selain fokus yang kuat pada visualisasi permukaan. Berbagai metode penghitungan dan penggabungan gradien medan orde pertama dan kedua didukung, serta konversi dan pemrosesan data elevasi dasar. Landserf ditulis dalam Java, dan karenanya tersedia di berbagai sistem operasi terluas.

ArcHydro adalah seperangkat alat analisis hidrologi yang ditulis sebagai ekstensi untuk ArcGIS. Ini mendukung serangkaian fungsi delineasi hidrologi dan DAS yang cukup lengkap.

Ada banyak paket lain yang tersedia, termasuk RiverTools, TAUDEM, Surfer, TAPES, dan MicroDEM, yang menyediakan berbagai kemampuan khusus, dan mungkin perlu diselidiki bagi pengguna yang tertarik dengan analisis medan dan hidrologi.

11.2 Kesimpulan

Analisis medan biasanya dilakukan dalam kerangka GIS. Analisis ini penting karena medan mengatur di mana dan berapa banyak air yang akan terakumulasi di lanskap, berapa banyak sinar matahari yang diterima situs, dan visibilitas aktivitas manusia.

Kemiringan dan aspek adalah dua variabel medan yang paling sering digunakan. Keduanya biasanya dihitung melalui fungsi trigonometri yang diterapkan dalam jendela bergerak ke DEM raster. Beberapa kernel telah dikembangkan untuk menghitung perubahan elevasi dalam arah x dan y, dan gradien komponen ini digabungkan untuk menghitung kemiringan dan aspek.

Kelengkungan profil dan kelengkungan rencana adalah dua fungsi analisis medan penting lainnya. Fungsi-fungsi ini mengukur kecembungan relatif atau kecekungan di medan, relatif terhadap arah lereng bawah untuk kelengkungan profil dan arah kemiringan melintang untuk kelengkungan rencana.

Analisis medan juga digunakan untuk mengembangkan dan menerapkan fungsi dan model hidrologi. Batas DAS, arah aliran, jalur aliran, dan jaringan drainase semuanya dapat ditentukan dari data elevasi digital. Jarak pandang adalah fungsi analisis medan lain yang umum diterapkan. Intervisibility dapat dihitung dari lokasi manapun pada DEM. Garis pandang dapat ditarik dari titik mana pun ke titik lain mana pun, dan jika tidak ada medan yang menghalangi, maka kedua titik tersebut dapat saling terlihat.

Jarak pandang sering digunakan untuk menganalisis visibilitas perubahan atau penambahan lanskap, misalnya, saat menentukan lokasi jalan baru, saluran listrik, atau bangunan besar.

Akhirnya, bayangan relief adalah penggunaan umum lainnya dari data medan. Peta relief berbayang adalah salah satu cara paling efektif untuk menggambarkan medan. Bayangan medan sering kali diturunkan dari DEM dan digambarkan di peta.

11.3 Soal Latihan

1. Apa yang dimaksud dengan model elevasi digital, dan mengapa model tersebut sering digunakan dalam analisis spasial?
2. Bagaimana data elevasi digital dibuat?
3. Tulis definisi kemiringan dan aspek, dan rumus matematika yang digunakan untuk menurunkannya dari data elevasi digital.
4. Hitung dz/dx dan dz/dy untuk jendela 3 x 3 berikut. Ketinggian dan dimensi sel dalam meter.

a)

110	113	118
112	114	119
111	117	121

←10→

dz/dx =

dz/dy=

dz/dx =

dz/dy =

b)

67	63	62
65	64	64
70	68	66

dz/dx =

dz/dy=

dz/dx =

dz/dy =

c)

18	23	17
21	24	19
20	22	18

dz/dx =

dz/dy=

dz/dx =

dz/dy =

5. Hitung dz/dx dan dz/dy untuk jendela 3 x 3 berikut. Ketinggian dan dimensi sel dalam meter.

a)

108	112	115
119	116	118
113	118	119

←10→

dz/dx =

dz/dy=

dz/dx =

dz/dy =

b)

68	63	61
69	67	66
70	71	72

dz/dx =

dz/dy=

dz/dx =

dz/dy =

c)

15	19	18
19	20	19
21	23	24

dz/dx =

dz/dy=

dz/dx =

dz/dy =

6. Hitung kemiringan dan aspek untuk nilai sel yang digarisbawahi, menggunakan metode empat sel terdekat.

712	709	707	703	704
710	706	704	700	702
708	705	705	697	700
711	709	705	696	694
714	712	708	703	698

←10→

7. Hitung kemiringan dan aspek untuk nilai sel yang digarisbawahi, menggunakan metode empat sel terdekat.

712	709	707	703	704
710	706	704	a) 700	702
708	705	b) 705	697	700
711	709	705	c) 696	694
714	712	708	703	698

←20→

8. Hitung kemiringan dan aspek untuk nilai sel yang digarisbawahi, menggunakan metode beda hingga orde ketiga.

712	709	707	703	704
710	706	704	700	702
708	705	705	697	700
711	709	705	696	694
714	712	708	703	698

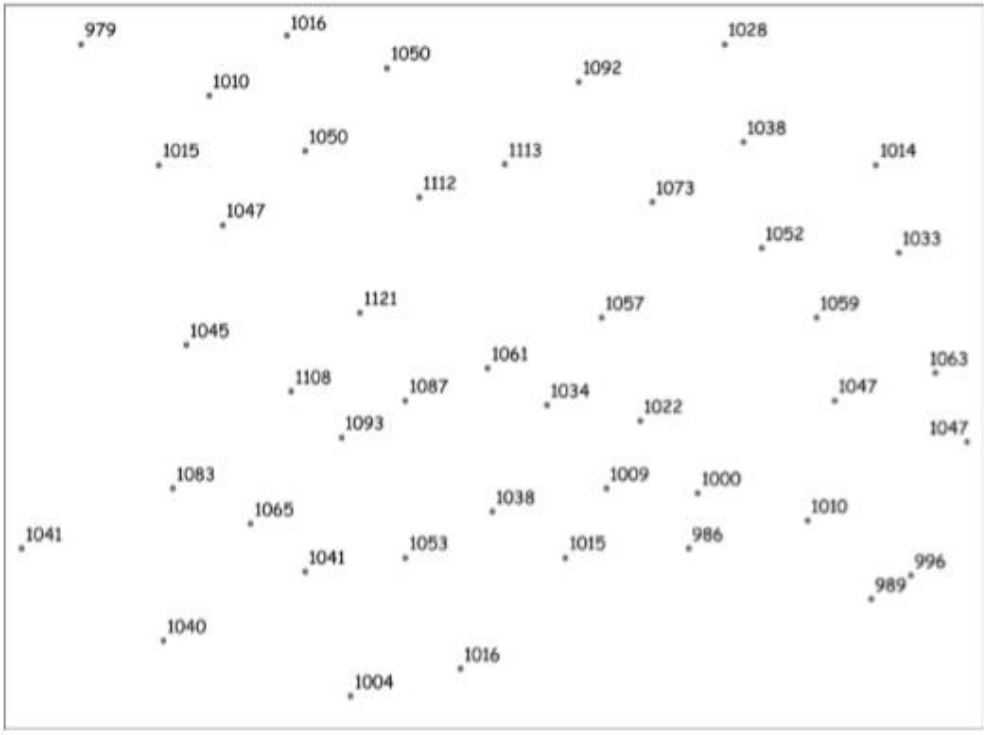
←10→

9. Hitung kemiringan dan aspek untuk nilai sel yang digarisbawahi, menggunakan metode beda hingga orde ketiga.

712	709	707	703	704
710	706	704	a) 700	702
708	705	b) 705	697	700
711	709	705	c) 696	694
714	712	708	703	698

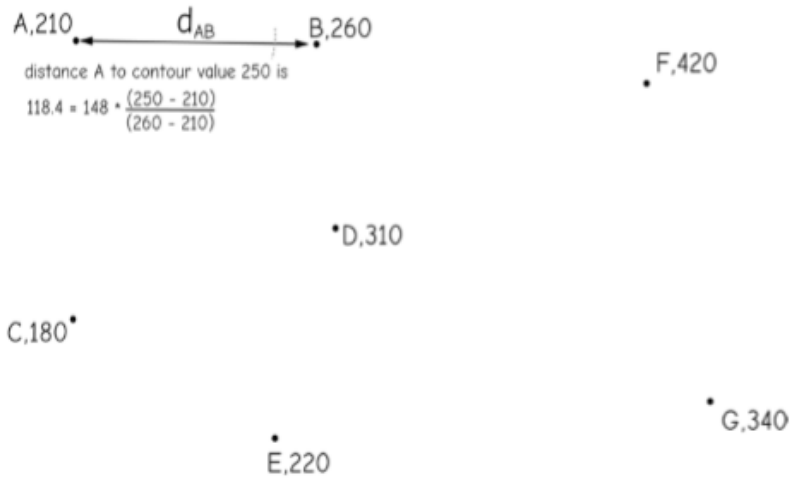
←20→

10. Buat grafik kemiringan dalam derajat (pada sumbu x) terhadap kemiringan dalam persen (sumbu y). Mana yang biasanya lebih besar, kemiringan sebagai derajat, atau kemiringan yang dinyatakan dalam persen?
11. Apa yang dimaksud dengan kontur elevasi?
12. Gambarkan perkiraan lokasi kontur untuk kumpulan titik berikut, mulai dari nilai elevasi 960, dan tempatkan kontur setiap 30 unit. Untuk latihan ini diperbolehkan untuk memperkirakan lokasi kontur secara visual, Anda tidak perlu menghitung jarak antar titik untuk menempatkan garis kontur.



13. Gambarkan perkiraan lokasi kontur untuk kumpulan titik berikut, mulai dari nilai elevasi 0, dan tempatkan kontur setiap 200 unit. Untuk latihan ini diperbolehkan untuk memperkirakan lokasi kontur secara visual, Anda tidak perlu menghitung jarak antar titik untuk menempatkan garis kontur.

14. Apa rumus untuk menghitung tinggi kontur dari dua titik elevasi yang diukur?
15. Dengan menggunakan gambar di bawah, hitung seberapa jauh dari A, sepanjang garis dari A ke B, ke garis kontur untuk nilai 250, jika jarak yang ditunjukkan dAB adalah 148 satuan. Tentukan jarak yang sesuai untuk titik/jarak tambahan:
    a. Berapa jauh dari B kontur 300 pada garis dari B ke D, jika jarak dBD adalah 94 satuan?
    b. Berapa jauh dari E kontur 250 pada garis dari E ke D, jika jarak dED adalah 115 satuan?
    c. Berapa jauh dari C kontur 200 pada garis dari C ke D, jika jarak dCD adalah 188 satuan?
    d. Berapa jauh dari E kontur 300 pada garis dari E ke G, jika jarak dEG adalah 248 satuan?



16. Dengan menggunakan gambar di atas, jawablah pertanyaan berikut:
    a. Berapa jauh dari A kontur 200 pada garis dari A ke C, jika jarak dAC adalah 94 satuan?
    b. Berapa jauh dari E kontur 300 pada garis dari E ke D, jika jarak dED adalah 115 satuan?
    c. Berapa jauh dari F kontur 400 pada garis dari F ke G, jika jarak dFG adalah 178 satuan?
    d. Berapa jauh dari B kontur 350 pada garis dari B ke F, jika jarak dBF adalah 224 satuan? Berapa jauh dari E kontur 250 pada garis dari E ke G, jika jarak dEG adalah 248 satuan?
17. Apa itu kelengkungan denah dan kelengkungan profil, dan apa perbedaannya?
18. Tentukan batas DAS dan kemungkinan lokasi aliran dalam data elevasi digital yang digambarkan di bawah ini:

373	366	369	383	378	356	337	329	328	326	327	326	331	338	330	322	322	314	301	293
384	380	384	392	380	357	343	339	340	341	342	343	346	350	343	335	327	312	303	304
409	405	405	401	380	360	354	356	361	362	359	356	354	352	349	345	336	320	316	322
420	417	416	407	384	367	368	375	376	369	357	345	337	332	332	335	336	327	321	323
399	397	401	399	379	362	367	381	381	365	344	327	317	312	312	320	328	323	313	310
369	369	377	381	366	349	353	370	378	366	343	324	310	300	301	315	328	320	306	300
355	353	362	370	359	340	338	357	372	365	344	324	305	293	296	315	329	319	298	288
349	343	348	359	351	332	327	342	358	357	341	318	295	285	292	310	322	313	292	278
343	333	336	348	338	318	313	323	341	349	335	309	283	275	282	298	310	301	282	270
336	323	326	336	324	304	297	305	326	339	329	302	275	265	270	285	298	291	271	260
322	309	308	321	316	297	283	289	309	325	322	299	271	256	260	274	286	281	262	249
308	295	292	309	314	295	275	273	288	303	302	286	265	250	250	260	266	263	249	240
298	287	281	295	305	293	273	262	269	277	274	264	253	242	239	242	245	244	238	233
282	275	269	275	283	281	269	257	254	255	251	244	238	234	231	231	232	232	229	228
278	275	270	265	264	264	262	257	252	245	240	238	237	236	235	234	234	233	229	225
303	299	289	274	266	262	257	256	252	246	246	251	253	252	250	249	248	244	236	228
322	313	296	280	278	276	265	257	251	249	261	272	273	273	271	271	267	259	247	234
321	308	290	279	285	287	276	265	253	252	269	282	284	284	284	285	280	268	253	238

19. Tentukan batas DAS dan kemungkinan lokasi aliran dalam data elevasi digital yang digambarkan di bawah ini:

162	108	67	103	56	66	130	214	153	122	70		56	91	165
169	160	101	120	95	115	119	202	212	121	55	43	101	158	261
254	224	182	158	214	142	208	249	225	129	58	121	137	253	344
323	312	204	191	214	228	300	345	195	126	58	105	188	298	381
338	334	267	307	231	194	200	190	176	114	63	141	199	277	278
438	471	405	344	228	242	194	137	103	81	111	103	198	262	195
550	550	387	304	301	330	245	257	175	110	163	204	225	206	144
669	557	502	414	451	378	396	329	180	148	242	349	293	191	148
604	639	490	442	433	425	406	264	169	169	278	401	297	241	167
742	666	536	443	340	294	265	202	221	227	339	342	260	260	245
799	630	509	438	456	414	304	344	337	322	359	377	387	375	308
767	685	608	578	457	426	318	442	371	421	430	330	275	292	226
734	789	721	578	512	421	443	512	506	503	378	315	227	213	173
668	765	826	728	579	558	489	534	513	366	330	244	266	190	170
705	767	784	785	761	675	607	545	440	275	226	202	165	104	55

20. Tentukan berikut ini: Sudut zenit matahari, sudut azimut matahari, dan sudut datang matahari.
21. Gambarlah diagram yang mengilustrasikan sudut datang matahari, dan identifikasi faktor-faktor lokasi/ medan apa yang mempengaruhi sudut datang matahari.
22. Apa itu jarak pandang, kapan digunakan, dan bagaimana cara menghitungnya?
23. Apa yang dimaksud dengan peta relief berbayang, juga dikenal sebagai permukaan hillshade? Bagaimana nilai untuk setiap sel permukaan hillshade dihitung?

11.4 Daftar Pustaka

Ali, G., Birkel, C., Tetzlaff, D., Soulsby, C., McDonnell, J.J., Tarolli, P. (2014). A comparison of wetness indices for the prediction of observed connected saturated areas under contrasting conditions. Earth Surface Process and Landforms, 39:399–413.

Ayeni, O. O. (1982). Optimum sampling for digital terrain models. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48:1687–1694.

Baral, D.J., Gupta, R.P. (1997). Integration of satellite sensor data with DEM for the study of snow cover distribution and depletion patterns. International Journal of Remote Sensing, 18:3889–3894.

Band, L.E. (1986). Topographic partition of watersheds with digital elevation models. Water Resources Research, 22:15–24.

Berry, J. K. (1986). A mathematical structure for analyzing maps. Environmental Management, 11:317–325.

Berry, J.K. (1987). Fundamental operations in computer-assisted mapping. International Journal of Geographic Information Systems, 1:119–136.

Beven, K.J., Kirby, M.J. (1979). A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, Hydrological Sciences Bulletin, 24:43–69.

Bolstad, P.V., T. Stowe. (1994). An evaluation of DEM accuracy: elevation, slope and aspect. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60:1327–1332.

Bonham-Carter, G. F., (1996). Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Ottawa: Pergamon.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems (2nd ed.). New York: Oxford University Press.

Collins, S.H., Moon, G.C. (1981). Algorithms for dense digital terrain models. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47:71–76.

DeFloriani, L., Magillo, P. (1994). Visibility algorithms on triangulated digital terrain models. International Journal of Geographical Information Systems, 8:13–41.

Dozier, J., Frew, J. (1990). Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from digital elevation data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28:963–969.

Dubayah, R., Rich, P.M. (1995). Topographic solar radiation models for GIS. International Journal of Geographical Information Systems, 9:405–419.

Fisher, P. F. (1996). Reconsideration of the viewshed function in terrain modelling. Geographical Systems, 3:33–58.

Flint, A.L., Childs, S.W. (1987). Calculation of solar radiation in mountainous terrain. Agricultural and Forest Meteorology, 40:233–249.

Hengl, T., Reuter, H.I., Eds. (2009). Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Amsterdam: Elsevier.

Hodgson, M.E. (1995). What cell size does the computed slope/aspect angle represent? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61:513–517.

Horn, B.K. (1981). Hill shading and the reflectance map. IEEE Proceedings on Geosciences, 69:14–47.

Hutchinson, M.F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, 106:211–232.

Hutchinson, M.F.(1993). Development of a continent-wide DEM with applications to terrain and climate analysis, In: M. F. Goodchild et al. (Eds.), Environmental Modeling with GIS. New York: Oxford University Press.

Jain, M.K., Kothyari, U.C., & Ranga, R.K.G. (2004). A GIS based distributed rainfallrunoff model. Journal of Hydrology, 299:105–122.

Jenson, S.K. (1991). Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. Hydrologic Processes, 5:31–44.

Jenson, S.K., Domingue, J.O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54:1593–1600.

Jones, N. L., Wright, S.G., Maidment, D R. (1990). Watershed delineation with triangle-based terrain models. Journal of Hydraulic Engineering, 116:1232–1251.

Julian, J.P., Elmore, A.J., Guinn, S.M. (2012). Channel head locations in forested watersheds across the mid-Atlantic United States: A physiographic analysis. Geomorphology, 177/78:194–203.

Lindsay, J.B. (2005). The terrain analysis system: a tool for hydro-geomorphic applications. Hydrological Processes, 19:1123–1130.

Louhaichi, M., Borman, M.M., Johnson, A.L., Johnson, D.E. (2003). Creating lowcost high-resolution digital elevation models. Journal of Range Management, 56:92–96.

Martz, L.W., Garbrecht, J. (1998). The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models. Hydrological Processes, 12:843–856.

Maune, D.F. (Ed.). (2007). Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User's Manual (2nd ed.). Bethesda: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

Moore, I.D., Grayson, R.B. (1991). Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. Water Resources Research, 27:1177–1191.

Moore, I.D., Turner, A, Jenson, S., & Band, L. (1993). GIS and land surface-subsurface process modelling, In M.F. Goodchild et al., (Eds.), Environmental Modeling with GIS. New York.: Oxford University Press.

Skidmore, A. K. (1989). A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model. International Journal of Geographical Information Systems, 3:323–334.

Southee, F.M., Treitz, P.M., Scott, N.A. (2012). Application of LiDAR terrain surfaces for soil moisture modeling. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 12:1241–1251.

Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology, Transactions of the American Geophysical Union, 8:913–920.

Tarboton, D.G., Bras, R.L., Rodriquez-Iturbe, I. (1992). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. Water Resources Research, 33:309–319.

Tomlin, C.D. (1990). Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

Wilson, J.P. (2012). Digital terrain modeling. Geomorphology, 137:107–121. Wilson, J., Gallant, J. (Eds.). (2000). Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: Wiley.

Wood, J. (1996). The geomorphological characterization of digital elevation models. Ph.D. thesis, University of Leicester, UK.

Wood, R., Sivapalan, M., Robinson, J. (1997). Modeling the spatial variability of surface runoff using a topographic index. Water Resources Research, 33:1061–1073.

Zevenbergen, L.W., and Thorne, C.R. (1987). Quantative analysis of land surface topography, Earth Surface Processes and Landforms, 12:47–56.

Ziadat, F.M. (2005). Analyzing digital terrain attributes to predict soil attributes for a relatively large area. Soil Science Society of America Journal, 69:1590–1599.

Zhou, Q., Liu, X. (2004). Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties. Computers & Geosciences, 30:369–378.

BAB 12
ESTIMASI SPASIAL : INTERPOLASI, PREDIKSI DAN AREA INTI

12.1 Pendahuluan

Metode prediksi spasial digunakan untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tidak diambil sampelnya. Pertanyaan yang jelas adalah, mengapa memperkirakan? Mengapa tidak mengukur nilai saja di semua lokasi? Prediksi diperlukan karena waktu dan uang terbatas. Ada jumlah tak terbatas dari lokasi pengambilan sampel potensial untuk setiap variabel kontinu di wilayah studi mana pun, dan tidak mungkin untuk mengukur di semua lokasi. Meskipun ada sejumlah objek diskrit yang terbatas dalam semua studi, biasanya ada terlalu banyak untuk mengukur semuanya. Kendala praktis biasanya membatasi sampel ke subset dari kemungkinan garis, poligon, titik, atau lokasi sel raster.

Prediksi spasial mungkin diperlukan karena alasan lain. Selain biaya, beberapa daerah mungkin sulit atau tidak mungkin untuk dikunjungi. Pemilik paket dapat melarang masuk, atau mungkin tidak aman untuk mengumpulkan data di lokasi yang diinginkan. Misalnya, mengumpulkan sampel tanah di bagian taman mungkin terlalu berbahaya karena singa mungkin memakan kru pengambilan sampel, atau gajah menginjak-injak mereka. Prediksi spasial mungkin diperlukan karena sampel yang hilang atau tidak sesuai. Jika sulit, mahal, atau musim pengambilan sampel yang salah, mungkin tidak mungkin untuk memulihkan sampel yang hilang. Sampel dapat ditemukan tidak dapat diandalkan atau dicurigai setelah kru pengukur kembali ke kantor

Poin-poin yang dicurigai, “pencilan” ini harus dihilangkan dari kumpulan data. Poin-poin yang sekarang hilang ini mungkin penting untuk analisis dan, jika demikian, nilai-nilai yang hilang diperkirakan. Mengganti sampel mungkin tidak mungkin, karena terlalu banyak waktu yang telah berlalu, atau karena tempat pengumpulan tidak lagi dapat diakses. Akhirnya, perkiraan mungkin diperlukan saat mengubah ke ukuran sel yang lebih kecil dalam kumpulan data raster. Frekuensi "pengambilan sampel" diatur oleh raster asli, dan nilai harus diperkirakan untuk sel baru yang lebih kecil.

Interpolasi spasial adalah prediksi variabel di lokasi yang tidak terukur berdasarkan pengambilan sampel variabel yang sama di lokasi yang diketahui. Sebagian besar metode interpolasi mengandalkan titik terdekat untuk memperkirakan nilai yang hilang, dan menggunakan beberapa ukuran jarak dari nilai yang diketahui ke nilai yang tidak diketahui. Kita mungkin telah mengukur polusi udara pada serangkaian menara di suatu wilayah, tetapi memerlukan perkiraan untuk semua lokasi di wilayah itu. Interpolasi secara rutin digunakan untuk memperkirakan suhu udara dan air, kelembaban tanah, ketinggian, produktivitas laut, kepadatan penduduk, dan sejumlah variabel tambahan.

Prediksi spasial juga melibatkan estimasi variabel di lokasi yang tidak disampel, tetapi berbeda dari interpolasi karena perkiraan didasarkan setidaknya sebagian pada variabel lain, dan sering kali pada kumpulan pengukuran total. Kami dapat menggunakan ketinggian untuk membantu memperkirakan suhu karena sering kali lebih dingin di lokasi yang lebih tinggi. Peta ketinggian dapat dikombinasikan dengan seperangkat suhu terukur untuk memperkirakan suhu di lokasi yang tidak diketahui.

Area inti dicirikan oleh penggunaan, kepadatan, intensitas, atau kemungkinan kemunculan yang tinggi untuk suatu variabel atau peristiwa. Area inti didefinisikan dari sekumpulan sampel, dan digunakan untuk memprediksi frekuensi atau kemungkinan terjadinya suatu objek atau peristiwa. Daerah jelajah hewan individu, konsentrasi aktivitas bisnis, atau pusat aktivitas kriminal adalah contoh area inti. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi area inti ini. Metode ini biasanya diambil dari satu set titik sampel yang merupakan peristiwa, seperti pengamatan hewan, lokasi bisnis, atau kejahatan yang telah dilakukan.

Prediksi spasial biasanya diterjemahkan dari dimensi spasial yang lebih rendah ke dimensi yang sama atau lebih tinggi. Ini berarti kami biasanya menghasilkan titik atau garis dari data titik, atau area dari data titik, garis, atau area. Metode prediksi memungkinkan kami untuk memperluas informasi yang telah kami kumpulkan, paling sering untuk "mengisi" di antara lokasi sampel, tetapi juga untuk meningkatkan kualitas data yang telah kami kumpulkan.

Metode prediksi spasial juga dapat digunakan untuk menerjemahkan informasi dari urutan yang lebih tinggi ke urutan yang lebih rendah, yaitu untuk memperkirakan nilai titik dari data yang dikumpulkan atau dikumpulkan ke area atau garis. Kami mungkin memiliki data populasi yang dilaporkan untuk suatu area, dan kami mungkin ingin memperkirakan populasi untuk titik tertentu dalam area ini. Ini mungkin dipengaruhi oleh masalah unit area yang dapat dimodifikasi, bahaya umum dalam metode estimasi spasial.

Apapun metode yang digunakan, estimasi spasial didasarkan pada sekumpulan sampel. Sampel individu setidaknya terdiri dari koordinat lokasi sampel dan pengukuran variabel yang diinginkan di lokasi sampel. Kami juga dapat mengukur variabel "terkait" tambahan di lokasi sampel. Koordinat harus diukur dengan akurasi dan presisi tertinggi praktis, mengingat kendala biaya dan waktu dan tujuan penggunaan data. Variabel sampel harus diukur menggunakan metode yang akurat, standar, dan dapat diulang

12.2 Sampling

Estimasi didasarkan pada sampel titik yang diketahui. Tujuannya adalah untuk memperkirakan nilai variabel di lokasi yang tidak diketahui berdasarkan nilai yang diukur di lokasi sampel. Perencanaan akan meningkatkan kualitas sampel, dan biasanya mengarah pada interpolasi yang lebih efisien dan akurat.

Kami mengontrol dua aspek utama dari proses pengambilan sampel. Pertama, kami dapat mengontrol lokasi sampel. Sampel harus tersebar di seluruh wilayah kerja kami. Namun, kami dapat memilih di antara pola yang berbeda dalam menyebarkan sampel kami. Pola yang kita pilih pada gilirannya akan mempengaruhi kualitas interpolasi kita. Distribusi titik sampel yang buruk dapat meningkatkan kesalahan atau mungkin tidak efisien, menghasilkan biaya yang tidak perlu.

Nomor sampel adalah aspek utama kedua dari proses pengambilan sampel yang dapat kita kendalikan. Orang mungkin percaya bahwa angka yang benar adalah “sebanyak yang Anda mampu;” Namun, hal ini tidak selalu terjadi. Hukum pengembalian yang semakin berkurang dapat dicapai, dan sampel lebih lanjut dapat menambahkan informasi yang relatif sedikit untuk biaya yang meningkat secara substansial. Sayangnya, dalam kebanyakan aplikasi praktis, dana yang tersedia merupakan faktor pembatas utama. Sebagian besar permukaan kurang

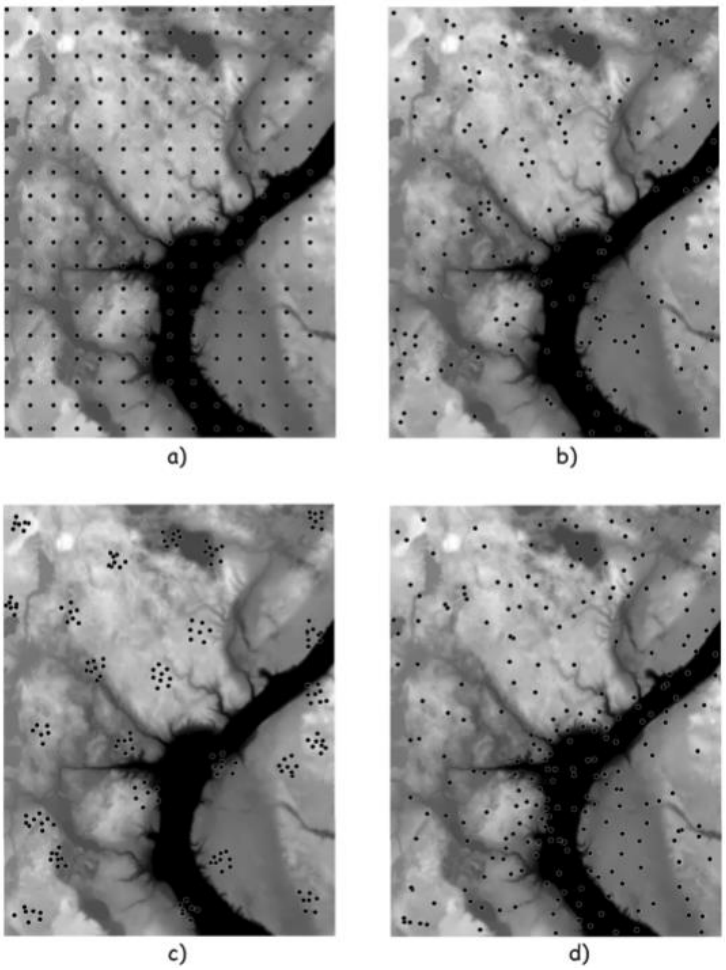
sampel, dan dana serta sampel tambahan hampir selalu meningkatkan kualitas permukaan yang diinterpolasi. Sampai saat ini ada relatif sedikit studi atau pedoman mapan untuk menentukan jumlah sampel yang optimal untuk sebagian besar metode interpolasi.

Ada kalanya kita tidak mengontrol distribusi maupun jumlah titik sampling. Ini sering terjadi ketika kita bekerja dengan variabel "ditemukan", misalnya, distribusi penyakit dalam suatu populasi. Kami dapat mengidentifikasi rumah tangga di mana anggota keluarga telah tertular penyakit tertentu. Meskipun kita tidak dapat mengontrol jumlah maupun distribusi sampel, kita mungkin ingin menggunakan "sampel" ini dalam prosedur interpolasi.

12.2.1 Pola Pengambilan Sampel

Ada beberapa pola sampling yang umum diterapkan. Pola pengambilan sampel sistematis adalah yang paling sederhana (Gambar a), karena sampel ditempatkan secara seragam pada interval x dan y yang tetap. Interval mungkin tidak sama di kedua arah, dan sumbu x dan y tidak diperlukan untuk menyelaraskan dengan arah grid utara dan timur. Pola pengambilan sampel sering muncul sebagai titik yang ditempatkan secara sistematis di sepanjang garis paralel.

Pengambilan sampel secara sistematis memiliki keunggulan dibandingkan pola pengambilan sampel lainnya dengan cara kemudahan dalam perencanaan dan deskripsi. Kru lapangan dengan cepat memahami bagaimana menyusun pola sampel, dan hanya ada sedikit penilaian subjektif yang diperlukan.



Gambar 12.1: Contoh (a) sistematik, (b) random, (c) cluster, dan (d) pola sampling adaptif. Titik sampel ditampilkan sebagai lingkaran padat. Kontur untuk permukaan ditampilkan sebagai garis. Metode pengambilan sampel berbeda dalam distribusi titik sampel.

Namun, sampling sistematis mungkin menderita sejumlah kelemahan. Ini biasanya bukan pola pengambilan sampel yang paling efisien secara statistik karena semua area menerima intensitas pengambilan sampel yang sama. Jika ada lebih banyak minat atau variasi di bagian tertentu dari wilayah studi, preferensi ini tidak ditangani dengan sampling sistematis. Kesulitan dan biaya perjalanan ke titik sampel adalah kerugian potensial lainnya. Mungkin sulit atau tidak mungkin untuk tetap berada di jalur antara titik pengambilan sampel. Medan yang kasar, hambatan fisik, atau kurangnya akses hukum dapat menghalangi pengambilan sampel di lokasi yang ditentukan.

Selain itu, pengambilan sampel sistematis dapat menimbulkan bias, terutama jika ada pola dalam variabel yang diukur yang bertepatan dengan interval pengambilan sampel. Misalnya, mungkin ada rangkaian punggung bukit dan lembah yang terkait dengan kondisi geologis yang mendasarinya. Jika interval sampling sistematis bertepatan dengan pola ini, mungkin ada bias dalam nilai sampel. Bias lain mungkin terjadi akibat oversampling jenis medan; misalnya, sebagian besar sampel mungkin berasal dari lokasi lembah. Bias ini pada gilirannya dapat menghasilkan interpolasi yang tidak akurat untuk nilai pada lokasi punggungan.

Pengambilan sampel secara acak (Gambar b) dapat menghindari beberapa, tetapi tidak semua, masalah yang mempengaruhi pengambilan sampel sistematik. Pengambilan sampel acak memerlukan pemilihan lokasi titik berdasarkan angka acak. Biasanya, baik koordinat timur dan utara dipilih oleh proses acak independen. Ini dapat diplot pada peta dan/atau terdaftar, dan kemudian dikunjungi dengan bantuan GPS atau teknologi penentuan posisi lainnya untuk mengumpulkan sampel. Titik-titik tersebut tidak harus dikunjungi sesuai urutan pemilihannya, sehingga dalam beberapa kasus jarak perjalanan antar titik akan sangat kecil. Rata-rata, jaraknya tidak akan lebih pendek daripada dengan sampel sistematis, sehingga biaya perjalanan mungkin setidaknya tidak lebih buruk daripada dengan pengambilan sampel sistematis.

Sampel acak memiliki keunggulan dibandingkan sampel sistematis karena tidak mungkin cocok dengan pola apa pun di lanskap. Oleh karena itu, peluang untuk pengambilan sampel yang bias dan prediksi yang tidak akurat lebih kecil kemungkinannya.

Namun, seperti pengambilan sampel sistematis, pengambilan sampel acak tidak melakukan apa pun untuk mendistribusikan sampel di area dengan variasi tinggi. Lebih banyak sampel daripada yang diperlukan dapat dikumpulkan di area yang seragam, dan sampel yang lebih sedikit dari yang dibutuhkan dapat dikumpulkan di area yang bervariasi. Selain itu, pengambilan sampel acak lebih rumit dan karenanya lebih sulit dipahami daripada pengambilan sampel sistematik. Pelatihan lebih lanjut mungkin diperlukan untuk kru pengambilan sampel saat menerapkan pengambilan sampel acak. Pengambilan sampel secara acak jarang dipilih saat pengambilan sampel di area yang luas, karena kelemahan ini dan keuntungan yang relatif sedikit dibandingkan strategi pengambilan sampel alternatif.

Cluster sampling adalah teknik yang mengelompokkan sampel (Gambar c). Pusat cluster dipilih dengan beberapa metode acak atau sistematis, dengan sekelompok sampel diatur di sekitar

setiap pusat. Jarak antara sampel dalam sebuah cluster umumnya jauh lebih kecil daripada jarak antara pusat cluster.

Mengurangi waktu perjalanan adalah keuntungan utama dari sampel cluster. Karena kelompok titik sampel ditemukan dalam jarak yang relatif dekat, waktu tempuh dalam suatu cluster umumnya cukup kecil. Kru pengambilan sampel dapat melakukan perjalanan beberapa jam untuk mencapai pusat cluster, tetapi mereka mungkin hanya menghabiskan beberapa menit di antara setiap sampel dalam sebuah cluster. Pengambilan sampel klaster sering digunakan dalam survei sumber daya alam yang memerlukan perjalanan off-road yang signifikan karena pengurangan waktu perjalanan.

Ada beberapa varian cluster sampling. Pusat cluster dapat ditempatkan secara acak atau sistematis. Sampel dalam sebuah cluster juga dapat ditempatkan secara acak atau sistematis di sekitar pusat cluster. Kedua pendekatan memiliki kelebihan, meskipun lebih umum untuk menempatkan pusat cluster secara acak dan mendistribusikan sampel dalam sebuah cluster menurut beberapa pola sistematis.

Pengambilan sampel adaptif adalah metode terakhir yang akan kami jelaskan. Pengambilan sampel adaptif dicirikan oleh kepadatan sampel yang lebih tinggi di mana fitur yang diinginkan lebih bervariasi (Gambar d). Sampel lebih sering di area ini, dan lebih jarang di "datar", area yang kurang bervariasi. Pengambilan sampel adaptif sangat meningkatkan efisiensi pengambilan sampel karena variasi skala kecil lebih baik diambil sampelnya. Area yang besar dan relatif homogen terwakili dengan baik oleh beberapa sampel, menyisakan lebih banyak sampel untuk area dengan variasi spasial yang lebih tinggi.

Pengambilan sampel adaptif memerlukan beberapa metode untuk memperkirakan variasi fitur saat berada di lapangan, atau memerlukan kunjungan berulang ke area pengambilan sampel. Kepadatan sampel meningkat secara adaptif di area dengan variasi tinggi. Dalam beberapa kasus cukup jelas di mana variasi terbesar saat berada di lapangan. Misalnya, ketika mengukur ketinggian, jelas di mana medannya lebih bervariasi. Kepadatan sampel dapat ditingkatkan berdasarkan pengamatan lapangan terhadap kecuraman

Jika tidak ada metode untuk mengidentifikasi fitur mana yang paling bervariasi saat berada di lapangan, maka kepadatan sampel tidak dapat ditingkatkan “di tempat”. Sampel dapat dikembalikan ke kantor atau laboratorium untuk dianalisis dan dibuat peta awal. Lokasi sampel kemudian dipilih berdasarkan variasi lokal. Daftar atau peta lokasi koordinat dapat dibawa ke lapangan dan digunakan sebagai pedoman dalam pengambilan sampel.

Ada banyak aspek lain dari desain sampling yang mungkin penting untuk variabel atau masalah tertentu. Pengambilan sampel dapat terjadi dengan atau tanpa penggantian. “Tanpa penggantian” untuk sampel spasial secara umum diartikan bahwa jika lokasi sampel dipilih satu kali, misalnya dengan proses pemilihan acak, lokasi sampel tidak dapat digunakan lagi, bahkan jika dipilih untuk kedua kalinya secara acak. proses. Ini biasanya tidak menjadi masalah ketika lokasi titik dijadikan sampel. Namun, masalah penggantian mungkin muncul ketika fitur linier atau area digunakan sebagai unit sampling. Misalnya, kita mungkin mengambil sampel populasi kabupaten, dan ingin memperkirakan populasi untuk semua kabupaten. Jika sebuah kabupaten dipilih untuk kumpulan sampel kami, pengambilan sampel tanpa pengembalian berarti kami tidak dapat memilihnya lagi, dan secara tidak sengaja memasukkannya dua kali ke dalam kumpulan kami. Ini dan pertimbangan penting lainnya dalam desain dan

pelaksanaan pengambilan sampel dibahas dalam literatur substansial tentang pengambilan sampel umum dan spasial.

12.3 Metode Interpolasi Spasial

Ada banyak metode interpolasi yang berbeda. Sementara metode bervariasi, semua menggabungkan nilai sampel dan posisi untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tidak terukur. Fungsi matematika digunakan yang menggabungkan jarak antara titik interpolasi dan titik sampel dengan nilai pada titik sampel. Metode berbeda dalam fungsi matematika yang digunakan untuk membobot setiap pengamatan, dan jumlah pengamatan yang digunakan. Beberapa interpolator menggunakan setiap pengamatan saat memperkirakan nilai di lokasi yang tidak diambil sampelnya, sementara interpolator lainnya menggunakan subset sampel, misalnya, tiga titik terdekat dengan lokasi yang tidak diukur.

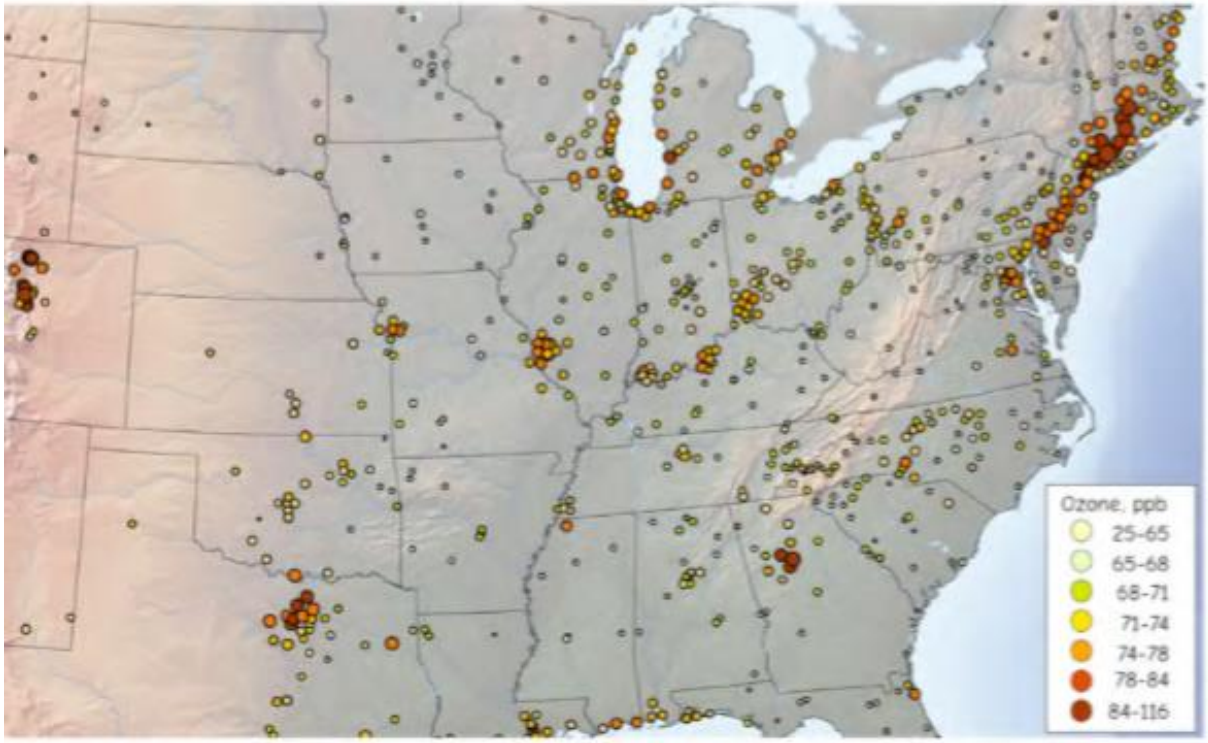
Metode interpolasi yang berbeda akan sering menghasilkan hasil yang berbeda, bahkan ketika menggunakan data input yang sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan fungsi matematika dan jumlah titik data yang digunakan saat mengestimasi nilai untuk lokasi yang tidak disampel. Setiap metode mungkin memiliki karakteristik yang unik, dan akurasi keseluruhan dari interpolasi akan sering bergantung pada metode dan sampel yang digunakan.

Akurasi sering dinilai dari perbedaan antara nilai terukur dan nilai interpolasi pada sejumlah titik sampel yang ditahan. Titik-titik yang ditahan ini tidak digunakan saat melakukan interpolasi, tetapi diperiksa terhadap permukaan yang diinterpolasi. Namun, tidak ada metode interpolasi tunggal yang terbukti lebih akurat daripada metode interpolasi lainnya untuk setiap aplikasi. Setiap individu atau organisasi harus menguji beberapa rejim pengambilan sampel dan metode interpolasi sebelum mengadopsi metode interpolasi. Metode interpolasi dapat menghasilkan satu atau lebih dari sejumlah tipe output yang berbeda.

Interpolasi biasanya digunakan untuk memperkirakan nilai untuk layer data raster. Metode lain menghasilkan garis kontur, lebih dikenal sebagai isoline, garis nilai seragam. Garis kontur lebih jarang dihasilkan dengan metode interpolasi, tetapi merupakan cara umum untuk menggambarkan permukaan kontinu. Setidaknya satu metode interpolasi mendefinisikan batas poligon.

Interpolasi ke permukaan raster membutuhkan perkiraan nilai yang tidak terukur di pusat setiap sel grid raster. Batas layer raster dan dimensi sel ditentukan, yang pada gilirannya menentukan lokasi setiap sel raster.

Pembuatan garis kontur lebih terlibat, dan mungkin memerlukan proses berulang. Lokasi set level yang diketahui ditentukan. Misalnya, satu set titik di mana suhu tepat 10°C dapat diperkirakan. Titik-titik ini terhubung untuk membentuk garis. Kumpulan titik lainnya dapat diperkirakan untuk 12°C, 14°C, 16°C, dan suhu lainnya. Titik untuk suhu tertentu digabungkan dengan batasan yang tidak boleh dilintasi oleh garis suhu yang berbeda. Garis kontur ini menggambarkan perubahan suhu (atau variabel lain yang diplot) di seluruh lanskap.



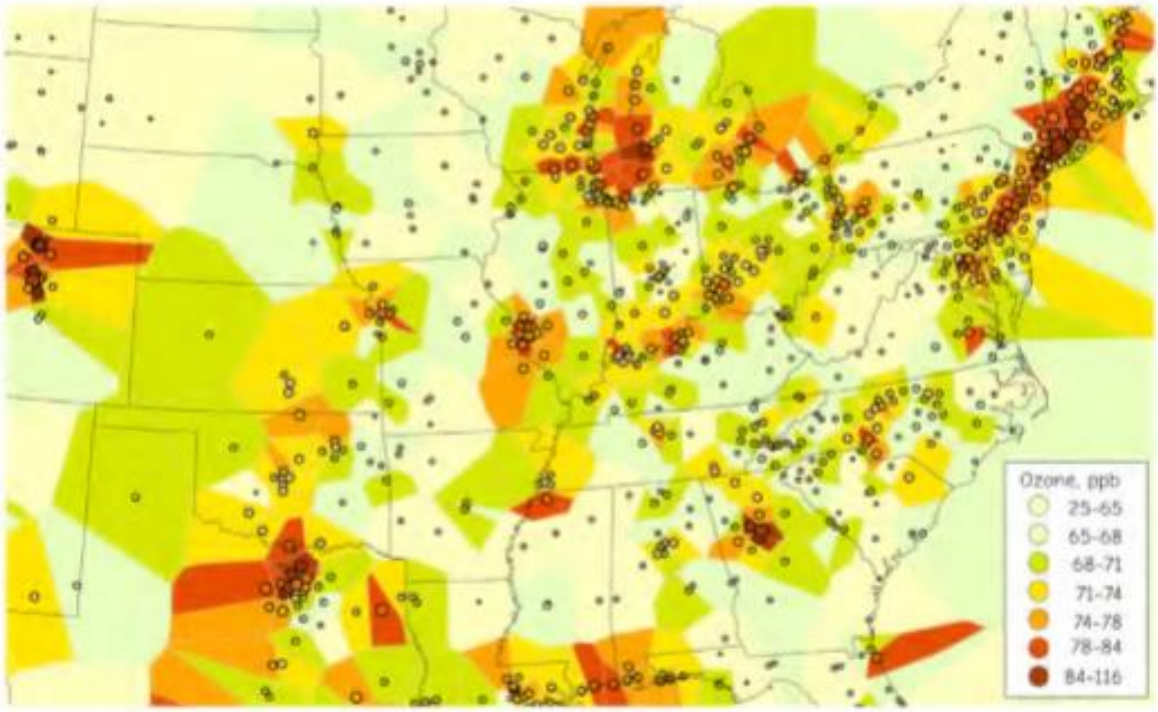
Gambar 12.2: Titik pengukuran dan nilai untuk indikator konsentrasi ozon tahun 2014. Konsentrasi yang lebih tinggi membahayakan kesehatan masyarakat, dengan pembacaan lebih dari 85 bagian per miliar terkait dengan kerusakan fungsi paru-paru, terutama pada orang tua, anak-anak, dan penderita asma. Data sampel ini akan digunakan nanti dalam bab ini untuk mendemonstrasikan metode interpolasi.

Perhatikan bahwa perbandingan dan gambar hanya untuk menggambarkan metode interpolasi yang berbeda. Mereka tidak menetapkan manfaat relatif atau akurasi dari berbagai metode. Metode interpolasi terbaik untuk semua aplikasi yang diberikan tergantung pada karakteristik variabel yang akan diestimasi, biaya pengambilan sampel, sumber daya yang tersedia, dan persyaratan akurasi pengguna.

12.3.1 Interpolasi Tetangga Terdekat

Interpolasi tetangga terdekat, juga dikenal sebagai interpolasi poligon Thiessen, memberikan nilai untuk setiap lokasi tanpa sampel yang sama dengan nilai yang ditemukan di lokasi sampel terdekat. Ini secara konseptual adalah metode interpolasi yang paling sederhana, dalam arti bahwa fungsi matematika yang digunakan adalah fungsi rumus sederhana, dan hanya satu titik, titik terdekat, yang digunakan untuk menetapkan nilai ke lokasi yang tidak diketahui.

Interpolator tetangga terdekat mendefinisikan satu set poligon, yang dikenal sebagai poligon Thiessen. Semua lokasi dalam poligon Thiessen yang diberikan memiliki nilai yang identik untuk variabel Z (dalam bab ini dan bab lainnya, Z akan digunakan untuk menunjukkan nilai variabel yang diinginkan pada lokasi sampel x dan y). Z mungkin elevasi, ukuran, produksi dalam pound per acre, atau variabel lain yang dapat kita ukur pada suatu titik. Poligon Thiessen mendefinisikan daerah di sekitar setiap titik sampel yang memiliki nilai yang sama dengan nilai pada titik sampel terdekat. Transisi antara tepi poligon tiba-tiba; yaitu, variabel melompat dari satu nilai ke nilai berikutnya melintasi batas poligon Thiessen.



Gambar 12.3: Titik sampel dan perkiraan konsentrasi ozon dengan poligon Thiessen (kanan).

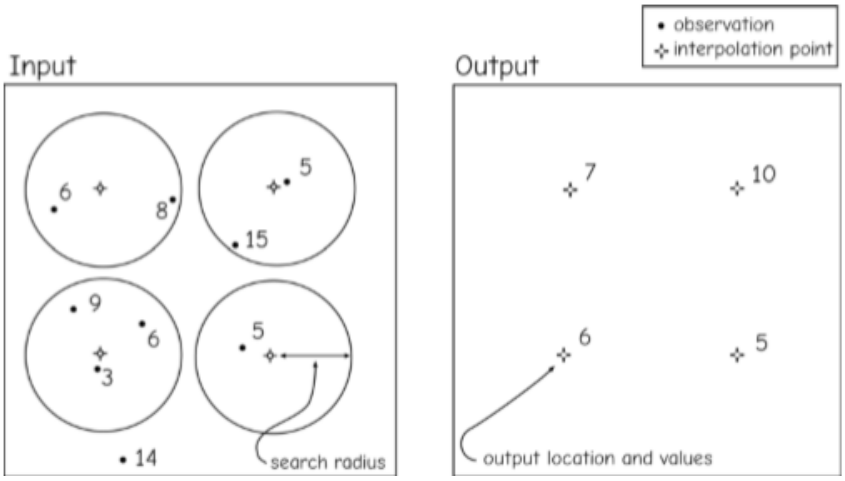
Gambar diatas menunjukkan titik sampel ozon dan poligon Thiessen berdasarkan titik sampel. Perhatikan bahwa pengambilan sampel lebih padat di dekat beberapa daerah perkotaan.

Poligon Thiessen lebih kecil di mana kerapatan pengambilan sampel tertinggi. Poligon Thiessen menyediakan interpolator yang tepat. Ini berarti permukaan interpolasi sama dengan nilai sampel pada setiap titik sampel. Nilai untuk setiap lokasi sampel dipertahankan, sehingga tidak ada perbedaan antara nilai sebenarnya dan nilai interpolasi pada titik sampel. Interpolator yang tepat memiliki kualitas yang mengagumkan ini, tetapi seringkali bukan interpolator terbaik pada titik tanpa sampel; misalnya, metode poligon Thiessen biasanya salah di lokasi yang tidak disampel, seringkali lebih dari interpolator tidak tepat lainnya.

Sebuah ukuran kesalahan independen diperlukan jika kita ingin mendapatkan perkiraan yang baik dari akurasi interpolasi. Perkiraan akurasi dapat diperoleh dengan teknik sampel yang dirahasiakan, di mana permukaannya cocok dengan data yang menahan satu titik data. Kesalahan diperkirakan pada titik yang ditahan sebagai nilai yang diamati dikurangi nilai interpolasi. Sampel diganti, sampel baru dipilih dan ditahan, dan kecocokan dan kesalahan permukaan ditentukan lagi. Ini diulang untuk setiap titik data. Metode pengujian yang kurang efisien memerlukan pengumpulan satu set titik sampel independen yang ditahan dari proses interpolasi. Nilai terukurnya kemudian dibandingkan dengan nilai interpolasi, dan kesalahan rata-rata, kesalahan maksimum, dan mungkin statistik kesalahan lainnya diidentifikasi.

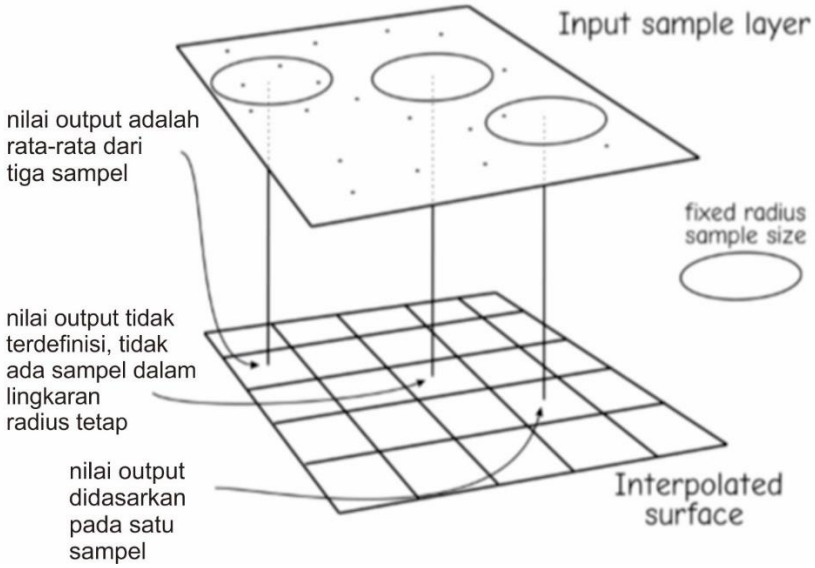
12.3.2 Radius Tetap – Rata-Rata Lokal

Interpolasi radius tetap lebih kompleks daripada interpolasi tetangga terdekat, tetapi kurang kompleks daripada kebanyakan metode interpolasi lainnya. Dalam interpolasi radius tetap, grid raster ditentukan di wilayah yang diinginkan. Nilai sel diperkirakan berdasarkan rata-rata sampel terdekat.



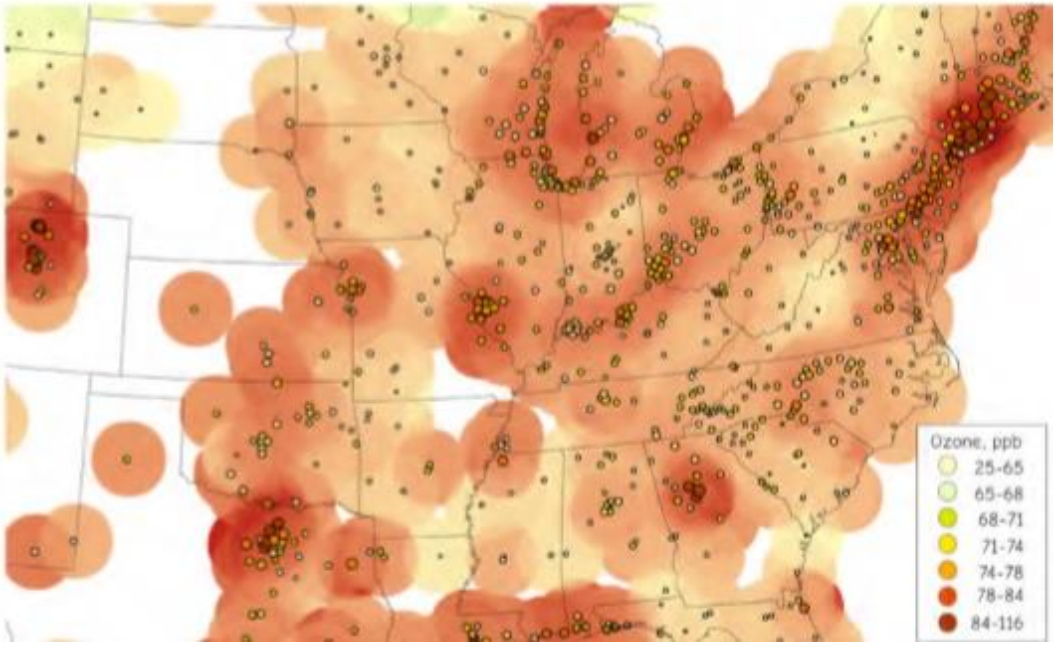
Gambar 12.4: Diagram dan contoh interpolasi radius tetap. Nilai dalam setiap lingkaran pengambilan sampel dirata-ratakan untuk memperkirakan nilai keluaran untuk titik yang sesuai.

Sampel yang digunakan untuk menghitung nilai sel bergantung pada radius pencarian. Jari-jari pencarian menentukan ukuran lingkaran yang berpusat pada setiap sel. Setiap titik sampel yang ditemukan di dalam lingkaran digunakan untuk menginterpolasi nilai sel tersebut. Titik-titik yang berada di dalam lingkaran dirata-ratakan, yang di luar lingkaran diabaikan



Gambar 12.5 diatas menunjukkan pandangan perspektif sampling radius tetap. Perhatikan bahwa ada layer data sampel, yang ditunjukkan di bagian atas Gambar, sejajar secara vertikal dengan permukaan yang diinterpolasi. Permukaan ini adalah layer data raster dengan nilai interpolasi di setiap sel raster. Lingkaran radius tetap berpusat di atas sel raster. Rata-rata dihitung untuk semua sampel yang terdapat dalam lingkaran sampel, dan rata-rata ini ditempatkan di sel raster output yang sesuai. Proses ini diulang untuk setiap sel raster di permukaan.

Lingkaran radius tetap ditampilkan sesuai dengan tiga sel raster, masing-masing berisi tiga, nol, dan satu titik sampel.



Gambar 12.6: Data asli dan titik sampel (kiri), dan interpolasi radius tetap (kanan).

Lingkaran mungkin tidak berisi titik, dalam hal ini nilai data nol atau tidak ada harus ditempatkan di sel raster. Jari-jari untuk lingkaran biasanya jauh lebih besar dari lebar sel raster. Ini berarti lingkaran tumpang tindih untuk sel yang berdampingan, yang menyebabkan nilai sel tetangga menjadi serupa. Interpolator radius tetap sering digunakan untuk membuat rata-rata bergerak sampel. Setiap titik sampel mungkin sesuai dengan jumlah atau nilai kepadatan, dan titik dapat dirata-ratakan secara spasial untuk menginterpolasi nilai untuk sel terdekat. Misalnya, seorang ahli agronomi dapat mengukur produksi jagung dalam gantang per acre di beberapa titik di suatu daerah. Ini dapat dikonversi ke permukaan raster dengan rata-rata pengukuran gantang per acre yang termasuk dalam lingkaran yang berpusat pada setiap sel.

Interpolator radius tetap cenderung menghaluskan data sampel. Nilai besar atau kecil yang diambil sampelnya pada titik tertentu dipertahankan ketika hanya satu titik sampel yang berada dalam radius pencarian sel. Nilai besar atau kecil dibawa menuju rata-rata sampel keseluruhan ketika nilai tersebut muncul dalam radius pencarian dengan titik sampel lainnya.

Jari-jari pencarian mempengaruhi nilai dan bentuk permukaan yang diinterpolasi. Radius pencarian yang terlalu kecil menghasilkan banyak sel kosong, tanpa data atau nilai nol. Radius pencarian yang terlalu besar dapat memuluskan data terlalu banyak. Dalam kasus ekstrim, radius pencarian dapat didefinisikan yang mencakup semua titik sampel untuk semua sel. Ini akan menghasilkan nilai interpolasi tunggal yang diulang untuk semua sel. Beberapa radius pencarian menengah dipilih. Jika banyak nilai sel berubah dengan perubahan kecil dalam radius pencarian, ini mungkin merupakan indikasi bahwa sampel terlalu jarang, dan lebih banyak titik sampel mungkin diperlukan.

Interpolator radius tetap bukanlah interpolator eksak karena mereka mungkin rata-rata beberapa titik di sekitar sampel, sehingga mereka tidak mungkin menempatkan nilai terukur pada titik sampel di permukaan interpolasi.

12.3.3 Interpolasi Tertimbang Jarak Terbalik

Interpolator pembobotan jarak terbalik (IDW) memperkirakan nilai pada titik yang tidak diketahui menggunakan nilai sampel dan jarak ke titik terdekat yang diketahui. Berat setiap titik sampel berbanding terbalik dengan jarak, demikian namanya. Semakin jauh titik tersebut, semakin sedikit bobot yang dimiliki titik tersebut dalam membantu menentukan nilai di lokasi tanpa sampel. Nilai diperkirakan dengan:

$$Zj = \frac{\sum_i \frac{Z1}{d^n ij}}{\sum_i \frac{1}{d^n ij}}$$

di mana Zj adalah nilai taksiran untuk titik yang tidak diketahui di lokasi j, dij adalah jarak dari titik i yang diketahui ke titik j yang tidak diketahui, Zi adalah nilai untuk titik i yang diketahui, dan n adalah eksponen yang ditentukan pengguna. Sejumlah titik yang lebih besar dari dua dapat digunakan, hingga semua titik dalam sampel. Biasanya beberapa titik dekat yang tetap digunakan; misalnya, tiga titik sampel terdekat akan digunakan untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tidak diketahui. Perhatikan bahwa n mengontrol seberapa cepat pengaruh titik berkurang dengan jarak. Semakin besar n, semakin kecil bobotnya (1/dnij), sehingga semakin kecil pengaruh suatu titik terhadap estimasi titik yang tidak diketahui.

Gambar diatas mengilustrasikan perhitungan interpolasi IDW. Tiga sampel terdekat digunakan. Setiap nilai sampel yang diukur dibobot dengan kebalikan jarak dari lokasi interpolasi yang tidak diketahui. Nilai tertimbang ini ditambahkan. Hasilnya dibagi dengan jumlah bobot untuk "menskalakan" bobot ke unit pengukuran. Ini menghasilkan perkiraan untuk lokasi tanpa sampel.

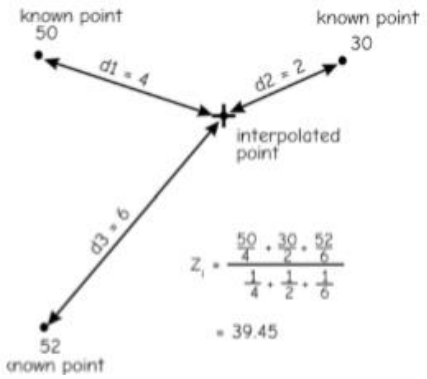
IDW adalah interpolator yang tepat. Nilai interpolasi sama dengan nilai sampel pada setiap titik sampel. Saat dij menjadi sangat kecil (titik sampel di dekat lokasi interpolasi), 1/dij menjadi sangat besar. Kontribusi dari titik sampel terdekat mengerdilkan kontribusi dari semua titik lainnya. Nilai 1/dij sangat mendekati nol untuk semua nilai i kecuali yang sangat dekat dengan titik sampel, sehingga nilai di semua titik lainnya secara efektif dikalikan dengan nol dalam pembilang rumus IDW. Jumlah dalam penyebut dikurangi menjadi bobot 1/dij. Bobot di bagian atas dan bawah rumus IDW menjadi lebih mirip, dan fraksi mendekati 1. Jadi, pada titik sampel rumus interpolasi IDW berkurang menjadi:

$$\frac{\frac{z_i}{d^n ij}}{\frac{1}{d^n ij}}$$

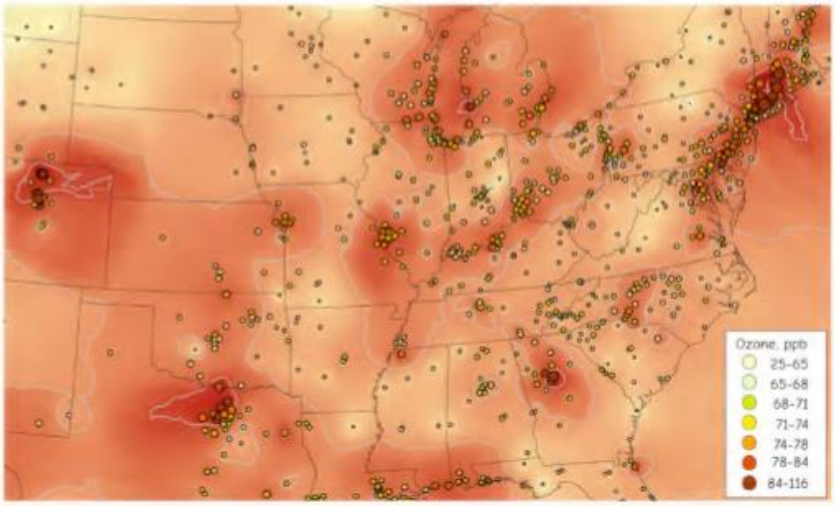
Dengan pembagian sederhana ini direduksi secara matematis menjadi Zi, nilai yang diukur di lokasi pengambilan sampel.

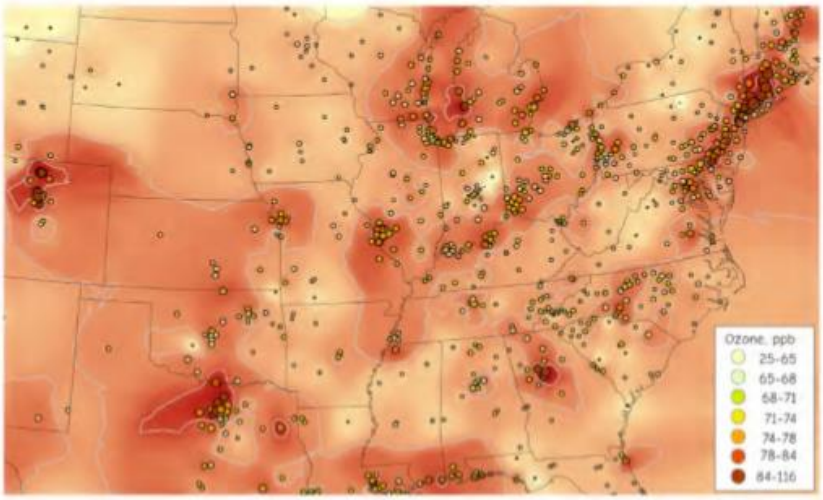
Pembobotan jarak terbalik menghasilkan permukaan interpolasi yang halus. Nilai tidak melompat terputus-putus di tepi, seperti yang terjadi dengan poligon Thiessen, dan kadang-kadang dengan interpolasi radius tetap. Sementara IDW mudah dan diterapkan secara luas, harus berhati-hati dalam mengevaluasi n dan i tertentu yang dipilih. Efek dari perubahan n dan i harus diuji dalam kasus oversampled atau menggunakan retensi dan metode

pemasangan berulang, dijelaskan kemudian, di mana titik potong yang memadai dapat dibandingkan dengan titik interpolasi. IDW, dan semua interpolator lainnya, harus diterapkan hanya setelah pengguna yakin bahwa metode tersebut memberikan perkiraan dengan akurasi yang memadai. Dalam kasus IDW, ini mungkin berarti menguji interpolator pada rentang nilai n dan i, dan memilih kombinasi yang paling sering memberikan hasil yang dapat diterima.



Gambar 12.7: Contoh perhitungan untuk interpolator pembobot jarak terbalik linier. Nilai pada setiap titik yang diketahui (50, 52, 30) dirata-ratakan, dengan bobot berdasarkan jarak (d1, d2, d3) dari titik interpolasi.





Ukuran eksponen yang ditentukan pengguna, n, mempengaruhi bentuk permukaan interpolasi. Ketika n yang lebih besar ditentukan, titik-titik yang lebih dekat menjadi lebih berpengaruh. Eksponen yang lebih tinggi menghasilkan permukaan dengan puncak yang lebih tinggi, lembah yang lebih rendah, dan gradien yang lebih curam di dekat titik sampel. Kontur menjadi jauh lebih terkonsentrasi di dekat titik sampel ketika n = 2 (Gambar atas) daripada ketika n = 1 (Gambar bawah). Nuansa yang berubah ini mencerminkan gradien yang lebih curam di dekat titik data yang diketahui.

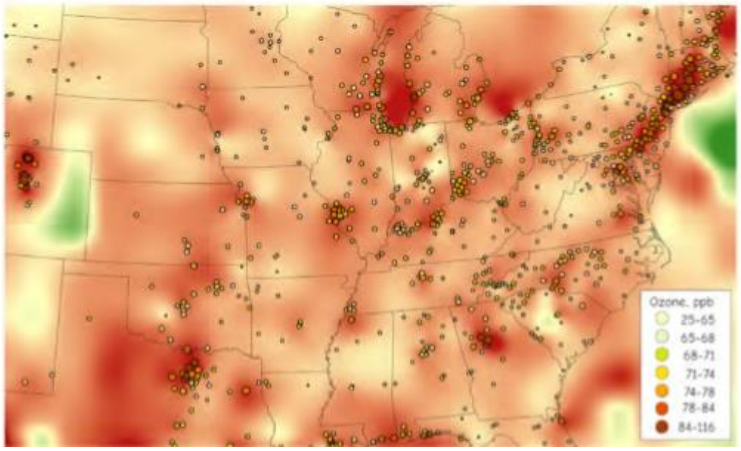
Jumlah titik, i, yang digunakan untuk memperkirakan titik interpolasi, j, juga mempengaruhi permukaan yang diperkirakan, tetapi efeknya seringkali kompleks dan sulit untuk digeneralisasi, karena bergantung pada distribusi dan besaran titik sampel tertentu. Jumlah titik sampel yang lebih besar cenderung menghasilkan permukaan interpolasi yang lebih halus

12.3.4 Splines

Spline adalah penggaris fleksibel yang biasa digunakan oleh juru gambar untuk membuat kurva halus melalui serangkaian titik. Fungsi spline matematika, juga disebut sebagai splines, digunakan untuk interpolasi sepanjang kurva halus. Fungsi-fungsi ini memiliki tujuan yang sama dengan penggaris fleksibel karena mereka memaksa garis halus untuk melewati serangkaian titik yang diinginkan.

Fungsi spline lebih fleksibel karena dapat digunakan untuk garis atau permukaan dan dapat diperkirakan dan diubah dengan cepat. Titik sampel adalah "panduan" yang dilalui spline.

Fungsi spline dibangun dari sekumpulan fungsi polinomial yang digabungkan. Fungsi garis akan dijelaskan di sini, tetapi prinsipnya juga berlaku untuk spline permukaan. Fungsi polinomial cocok untuk segmen pendek. Metode eksak atau kuadrat terkecil dapat digunakan untuk menyesuaikan garis melalui titik-titik yang ditemukan di segmen. Misalnya, polinomial orde ketiga mungkin cocok untuk segmen garis. Polinomial orde ketiga yang berbeda akan cocok untuk segmen garis berikutnya. Polinomial ini pada dasarnya adalah kurva halus dalam segmen tertentu. Splines biasanya urutan pertama, kedua, atau ketiga, sesuai dengan eksponen maksimum dalam rumus yang digunakan untuk menyesuaikan setiap segmen (misalnya, urutan kedua untuk x^2, urutan ketiga untuk x^3 atau x^2y). Segmen bertemu di simpul, atau bergabung poin. Titik gabungan ini mungkin jatuh pada titik sampel, atau mungkin berada di antara titik sampel.

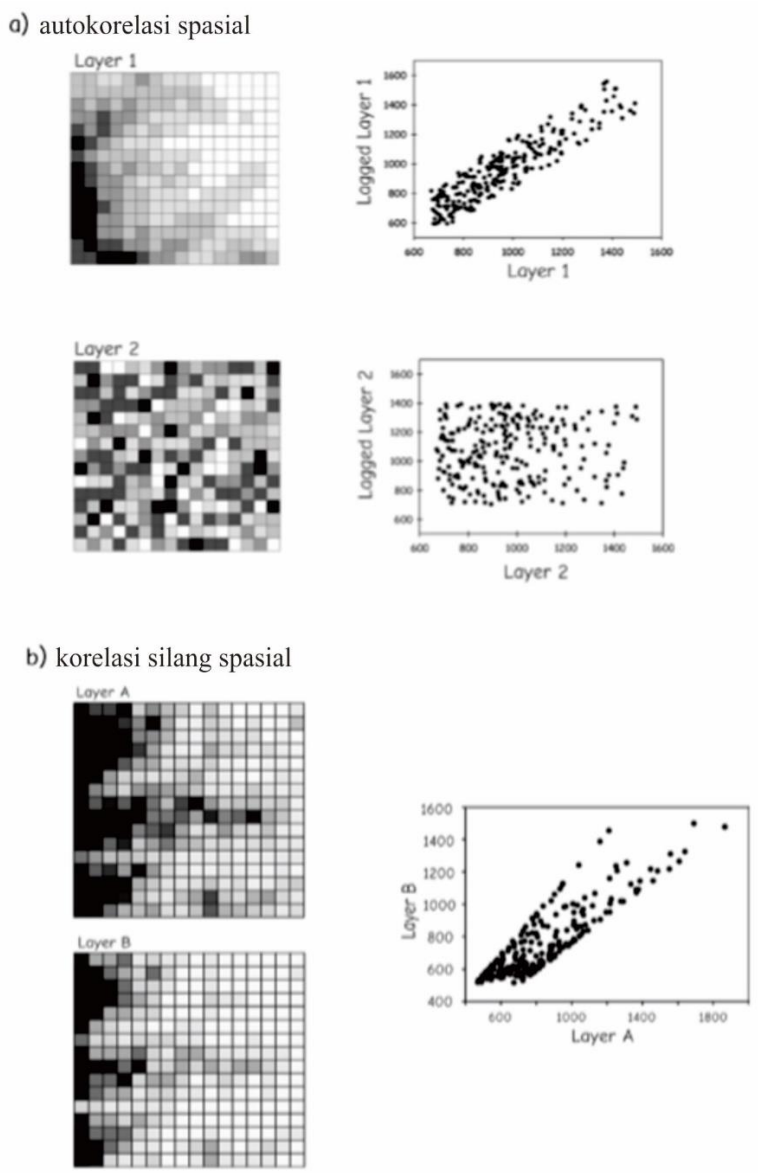


Gambar : Permukaan spline-fit.

Batasan ditetapkan pada fungsi spline untuk memastikan seluruh garis atau permukaan tetap mulus pada titik sambungan. Kendala ini dimasukkan ke dalam bentuk matematika dari fungsi untuk setiap segmen. Kendala-kendala ini mengharuskan kemiringan garis dan perubahan kemiringan garis sama di seluruh segmen di kedua sisi titik gabungan. Biasanya, fungsi spline memberikan interpolasi yang tepat (spline melewati titik sampel) dan menunjukkan transisi yang mulus. Menegakkan interpolasi yang tepat terkadang dapat menyebabkan artefak pada simpul atau di antara titik. Loop besar atau penyimpangan dapat terjadi. Fungsi spline sering dimodifikasi untuk memungkinkan beberapa kesalahan dalam pemasangan, terutama ketika memasang permukaan daripada garis. Ini biasanya menghilangkan artefak pas spline, sambil mempertahankan garis atau permukaan interpolasi yang halus dan berkelanjutan

12.4 Prediksi Spasial

Prediksi spasial didasarkan pada model matematika, sering dibangun melalui proses statistik. Model berbasis statistik ini menggunakan lokasi koordinat dan variabel "independen" yang diukur atau diamati untuk memprediksi nilai untuk variabel "tergantung" yang penting tetapi tidak diketahui.



Gambar 12.8: Bagian a menunjukkan lapisan data yang berkorelasi spasial (Layer 1) dan tidak berkorelasi spasial (Layer 2). Plot pasangan sampel dengan jarak lag h = 1 menunjukkan nilai yang sama untuk Lapisan 1 yang berkorelasi secara autokorelasi, dan nilai yang tidak terkait untuk Lapisan 2 yang tidak berkorelasi. Panel b menunjukkan dua lapisan yang berkorelasi silang. Layer A memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi daripada Layer B, tetapi kedua layer tersebut berbeda secara bersamaan. Keduanya mencapai nilai tinggi dan rendah di area yang sama.(gambar a autokorelasi spasial dan gambar b korelasi silang spasial)

Prediksi spasial berbeda dari interpolasi karena menggunakan proses pemasangan statistik daripada algoritma yang telah ditentukan sebelumnya, dan karena prediksi spasial menggunakan variabel independen serta koordinat lokasi untuk memperkirakan variabel yang tidak diketahui. Kami mengakui bahwa perbedaan kami antara prediksi spasial dan interpolasi adalah buatan, tetapi berguna dalam mengatur diskusi kami, dan menyoroti perbedaan penting antara model berDatabase dan metode interpolasi tetap kami. Prediksi spasial adalah kasus khusus dari pemodelan prediksi umum, fokus dari statistik terapan. Ada literatur yang kaya dan berkembang yang ditujukan untuk statistik spasial secara umum, dan pemodelan prediksi spasial pada khususnya.

Meskipun ada banyak jenis prediksi spasial, diskusi kita akan dibatasi untuk memprediksi variabel spasial kontinu. Variabel-variabel ini dikonseptualisasikan sebagai bidang spasial yang dapat diamati pada titik mana pun di seluruh domain spasial, diukur pada skala interval/rasio, dan biasanya memiliki nilai yang bervariasi secara bersamaan—yaitu, mereka berkorelasi spasial. Ini berbeda dengan objek diskrit, seperti fitur titik, garis, atau poligon. Sementara kemunculan dan properti fitur diskrit dapat diprediksi menggunakan model spasial, hal ini jarang dilakukan, dan sebagian besar prediksi objek diskrit menggunakan seperangkat alat yang berbeda yang tidak akan dibahas di sini.

Prediksi spasial dapat dianggap lebih umum daripada interpolasi. Kedua metode digunakan untuk memperkirakan nilai variabel target di lokasi yang tidak diketahui. Metode interpolasi hanya menggunakan variabel target yang diukur dan koordinat sampel untuk memperkirakan variabel target di lokasi yang tidak diketahui, sedangkan prediksi spasial biasanya memasukkan variabel tambahan.

Prediksi spasial juga dapat dipandang berbeda dari interpolasi spasial karena metode prediksi sering membahas keberadaan autokorelasi spasial. Autokorelasi spasial adalah kecenderungan benda-benda di dekatnya untuk bervariasi secara bersama-sama. Nilai tinggi ditemukan di dekat nilai tinggi, dan nilai rendah cenderung mendekati nilai rendah. Penjelasan dari kondisi umum ini sering merujuk pada pengamatan Waldo Tobler, bahwa “segala sesuatu di alam semesta terkait dengan segala sesuatu yang lain, tetapi hal-hal yang lebih dekat lebih terkait.” Namun, sifat korelasi dapat berubah dari satu variabel ke variabel berikutnya, atau mungkin berubah dalam ruang. Korelasi mungkin kuat di satu wilayah tetapi buruk di wilayah lain, atau positif di satu bidang dan negatif di bidang lain. Kami memiliki peluang untuk meningkatkan prediksi kami jika kami mempelajari korelasi dan menggabungkan struktur korelasi yang diamati ke dalam proses prediksi.

Selain autokorelasi spasial, variabel dapat menunjukkan korelasi silang antara variabel yang berbeda: kecenderungan dua variabel untuk berubah secara bersamaan. Ini berarti dua variabel berbeda di lokasi yang sama atau berdekatan mungkin tinggi atau rendah bersama-

sama. Metode prediksi spasial dapat menggabungkan salah satu, atau kedua jenis korelasi ini dalam prediksi.

Permukaan dengan autokorelasi spasial rendah dan tinggi dan dengan korelasi silang yang kuat ditunjukkan pada Gambar a menunjukkan dua permukaan, Layer 1, dengan autokorelasi tinggi, dan Layer 2, dengan autokorelasi rendah. Diagram pencar dari pasangan sampel yang dipisahkan oleh jarak lag pendek yang seragam ditunjukkan di sebelah kanan setiap layer yang sesuai. Autokorelasi yang lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Layer 1, menunjukkan bahwa titik-titik yang berdekatan adalah sama. Sampel dari permukaan dengan autokorelasi tinggi memberikan informasi penting tentang nilai di lokasi terdekat (Gambar a, atas). Sampel dari permukaan dengan autokorelasi rendah tidak memberikan banyak informasi pada nilai di sekitar titik sampel (Gambar a, bawah).

Dua layer raster berkorelasi silang ditunjukkan pada Gambar b. Layer berkorelasi silang positif memiliki nilai yang cenderung tinggi di beberapa wilayah dan sama-sama rendah di wilayah lain. Banyak fitur yang berkorelasi positif, seperti, harga rumah dan pendapatan rata-rata, atau kepadatan toko donat dan jumlah penjaga keamanan. Korelasi silang negatif terjadi ketika variabel berubah dalam arti yang berlawanan — area dengan nilai tinggi untuk satu variabel rendah untuk yang lain, misalnya, suhu rendah di ketinggian yang lebih tinggi.

Statistik Moran's I adalah ukuran korelasi spasial yang mapan:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} W_{ij} \, (Z_i - Z)(Z_j - Z)}{\sum_{i=1}^{n} (Z_i - Z)^2 \sum_{i-1}^{n} \sum_{j=1}^{n} W_{ij}}$$

di mana Zi dan Zj masing-masing adalah nilai variabel di titik i dan j; Z adalah mean variabel; dan wij adalah nilai bobot yang mengambil nilai 1 jika Zi dan Zj berdekatan, dan 0 jika nilainya tidak.

Nilai Moran I mendekati nilai +1 di area korelasi spasial positif, artinya nilai besar cenderung mengelompok, dan nilai kecil mengelompok. Nilai yang mendekati nol terjadi di area dengan korelasi spasial yang rendah, dan menunjukkan mengetahui nilai di suatu lokasi tidak memberikan banyak informasi tentang nilai di lokasi yang berdekatan—nilai tersebut kemungkinan besar akan berbeda atau mirip dengan nilai yang diamati.

Moran's I juga dapat dihitung untuk kumpulan data poligon vektor, tetapi ini memerlukan definisi kedekatan. Kedekatan poligon dapat didefinisikan dalam berbagai cara, paling umum ketika dua poligon berbagi tepi. Namun, dua poligon dapat dianggap berdekatan jika mereka berbagi simpul atau simpul, atau jika tepinya dipisahkan kurang dari jarak yang ditentukan. Seperti perhitungan raster Moran's I, bobot biasanya ditetapkan ke satu untuk pasangan poligon yang berdekatan dan diatur ke nol untuk pasangan poligon yang terpisah.

12.4.1 Regresi Spasial

Regresi spasial dan metode prediksi berbasis statistik lainnya biasanya menggunakan pengamatan variabel dependen, vαariabel "independen" lainnya, dan koordinat sampel untuk mengembangkan rumus prediksi. Misalnya, kita mungkin ingin memperkirakan suhu di seluruh wilayah, dan memiliki akses ke jaringan stasiun suhu. Kita dapat menggunakan teknik interpolasi yang dijelaskan pada bagian sebelumnya untuk memperkirakan suhu, dan teknik ini hanya menggunakan koordinat stasiun dan nilai suhu yang diukur pada koordinat tersebut.

Namun, kami juga dapat mencatat bahwa ada hubungan yang kuat antara suhu dan ketinggian (umumnya lebih dingin di ketinggian yang lebih tinggi). Kami dapat menggabungkan pengukuran dari stasiun suhu kami dengan data ketinggian, garis lintang, dan garis bujur dalam proses statistik untuk mengembangkan hubungan matematis antara suhu, garis lintang, garis bujur, dan ketinggian. Kami kemudian akan menggunakan hubungan ini untuk memperkirakan medan suhu di wilayah tersebut.

Prediksi spasial sering digambarkan secara matematis oleh fungsi umum, seperti:

$$Z_i = f(x_i y_i \alpha_i \beta_j$$

di mana Zi adalah nilai output yang diperkirakan, pada koordinat x_i y_i di titik i; α_i adalah variabel yang diukur pada titik i; dan j adalah variabel yang diukur di lokasi lain.

12.4.2 Permukaan Tren dan Regresi Spasial Sederhana

Prediksi permukaan tren adalah jenis regresi spasial yang melibatkan pemasangan model statistik, atau permukaan tren, melalui titik-titik yang diukur. Permukaan biasanya polinomial dalam sistem koordinat X dan Y. Misalnya, model polinomial orde kedua adalah:

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x_2 + a_4y_2 + a_5\ xy$$

di mana Z adalah nilai pada sembarang titik x dan y, dan setiap ap adalah koefisien yang diestimasi dalam model regresi. Metode kuadrat terkecil, yang dijelaskan di sebagian besar buku teks pengantar statistik, digunakan untuk memperkirakan kumpulan nilai ap terbaik. Nilai ap dipilih untuk meminimalkan perbedaan rata-rata antara nilai Z yang diukur dan permukaan prediksi.

Harus ada setidaknya satu titik sampel lebih dari jumlah koefisien ap yang diperkirakan karena kendala statistik. Ini tidak menimbulkan masalah praktis untuk sebagian besar aplikasi, karena model polinomial terbaik seringkali orde kedua atau ketiga dan memiliki koefisien kurang dari 10. Lebih dari 10 titik sampel biasanya dikumpulkan untuk memastikan cakupan wilayah studi yang memadai.

Permukaan tren bukanlah prediktor yang tepat karena permukaan biasanya tidak melewati titik yang diukur. Ini berarti bahwa ada kesalahan di setiap lokasi sampel, diukur sebagai perbedaan antara permukaan interpolasi dan pengukuran. Permukaan tren sering kali merupakan salah satu metode paling akurat saat memasang permukaan yang bervariasi dengan mulus, seperti suhu rata-rata harian di area yang luas. Permukaan tren biasanya tidak memiliki artifak "mata banteng" karena pengaruh lokal yang berlebihan pada interpolator pembobotan jarak terbalik.

Gambar 12.9 : Permukaan tren orde ketiga cocok dengan titik sampel.

Metode permukaan tren biasanya tidak bekerja dengan baik ketika ada permukaan yang sangat berbelit-belit. Ozon seperti yang ditunjukkan dalam pengamatan mentah dapat berubah dengan cepat dalam jarak pendek, seperti halnya curah hujan dari badai petir musim panas tunggal, atau kepadatan penduduk di lingkungan penggunaan campuran; jenis variasi tiba-tiba ini sering kali kurang diperkirakan dengan permukaan tren. Bahkan polinomial orde tinggi mungkin tidak cukup fleksibel untuk menyesuaikan dengan permukaan yang rumit dan berbelit-belit ini.

Permukaan tren dapat diperluas untuk memasukkan variabel independen yang memberikan bantuan dalam memprediksi variabel yang diinginkan:

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3Q + a_4W$$

dimana x dan y adalah koordinat lokasi, dan Q dan W adalah variabel bebas yang diukur pada titik (x,y), dan Z adalah variabel terikat yang akan diprediksi pada titik (x,y). Nilai ap adalah koefisien untuk rumus prediksi, biasanya diperkirakan melalui proses statistik kuadrat terkecil. Nilai Z dapat diprediksi di setiap lokasi di mana kita memiliki nilai untuk x, y, Q, dan W.

12.4.3 Kriging dan Co-Kriging

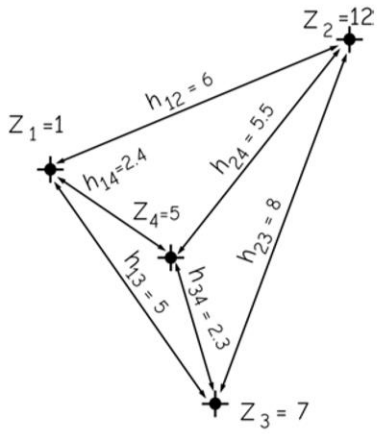
Kriging adalah penduga variabel spasial berbasis statistik. Ini berbeda dari pendekatan permukaan tren karena prediksi didasarkan pada teori variabel regional, yang mencakup tiga komponen utama. Komponen pertama dalam model kriging adalah tren spasial, kenaikan atau penurunan variabel yang bergantung pada arah; misalnya, curah hujan mungkin berkurang ke arah barat.

Komponen kedua menggambarkan autokorelasi spasial lokal, yaitu kecenderungan titik-titik yang berdekatan memiliki nilai yang sama. Kriging unik dan kuat karena kami menggunakan perubahan yang diamati dalam autokorelasi spasial dengan jarak untuk memperkirakan nilai di lokasi kami yang tidak diketahui.

Komponen ketiga dalam prediksi adalah variasi stokastik acak. Ketiga komponen tersebut digabungkan dalam model matematika untuk mengembangkan fungsi estimasi. Fungsi tersebut kemudian diterapkan pada data terukur untuk memperkirakan nilai di seluruh wilayah studi.

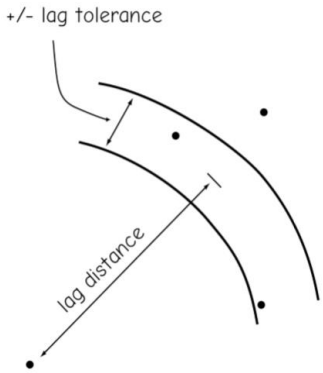
Sama seperti interpolator IDW, bobot dalam kriging digunakan dengan variabel sampel terukur untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tidak diketahui. Dengan kriging, bobot dipilih dengan cara yang optimal secara statistik, dengan model kriging spesifik dan asumsi tentang tren, autokorelasi, dan variasi stokastik dalam variabel yang diprediksi.

Metode kriging adalah inti dari geostatistik. Geostatistika awalnya dikembangkan pada awal 1900-an oleh D.G. Krige dan Georges Matheron untuk digunakan dalam pertambangan. Sampel prospeksi mungkin mahal untuk diperoleh atau diproses, dan kepadatan bijih yang akurat atau prediksi kejadian mungkin cukup sulit, tetapi berharga. Krige dan Matheron berusaha mengembangkan estimator yang akan menggabungkan tren, autokorelasi, dan variasi stokastik dan juga memberikan beberapa estimasi varian lokal dalam variabel yang diprediksi.



Gambar 12.10: Jarak lag, digunakan dalam menghitung semivarians untuk kriging.

Kriging menggunakan konsep jarak lag, sering dilambangkan dengan huruf h. Pertimbangkan kumpulan sampel yang ditunjukkan pada Gambar diatas. Setiap nilai untuk variabel Z ditampilkan diplot di atas suatu wilayah. Titik individu dapat didaftar sebagai Z_1, Z_2, Z_3, dll., hingga Zk, bila ada k titik sampel. Jarak lag untuk sepasang titik adalah jarak antara mereka, dan dengan konvensi dilambangkan dengan h. Jarak lag dihitung dari nilai koordinat x dan y untuk titik sampel, berdasarkan rumus Pythagoras. Dalam contoh kita pada Gambar 12-15, jarak lag (horizontal) antara lokasi titik sampel Z_1 dan Z_2 kira-kira 6 satuan. Selisih nilai yang diukur pada titik-titik tersebut, $Z_1 - Z_2$, sama dengan 11. Setiap pasangan titik sampel dipisahkan oleh jarak, dan juga memiliki perbedaan nilai yang diukur pada titik-titik tersebut. Misalnya, Z_1 adalah 2,4 unit dari Z_4, dan Z_1 adalah 5 unit dari Z_3. Setiap pasangan memiliki perbedaan tertentu dalam nilai Z; misalnya Z1 dikurangi Z_4 adalah 4. Setiap himpunan pasangan yang mungkin dari Z_a, Z_b, mendefinisikan jarak hab, dan berbeda dengan jumlah Z_a – Zb. Jarak hab dikenal sebagai jarak lag antara titik a dan b, dan secara umum terdapat himpunan bagian dari titik-titik dalam himpunan sampel yang diberi jarak lag tertentu.



Gambar 12.11: Toleransi lag menentukan rentang untuk mengelompokkan sampel. Pengelompokan membantu estimasi kovarians spasial.

Jarak lag sering diterapkan dengan toleransi lag terkait. Toleransi lag mendefinisikan rentang kecil yang “cukup dekat” dengan jarak lag. Sebuah toleransi lag diperlukan karena jarak lag individu biasanya tidak diulang dalam data sampel. Sebagian besar atau semua jarak antara titik sampel adalah unik, sehingga hanya ada sedikit atau tidak ada replikasi yang dapat digunakan untuk menghitung variabilitas pada setiap lag. Beberapa jarak mungkin sangat

mirip, tetapi jarak biasanya akan berbeda di tempat desimal terkecil. Sebuah toleransi lag menghindari masalah ini.

Toleransi lag menentukan kapan jarak cukup mirip untuk dikelompokkan dalam perhitungan kovarians spasial. Sebagai contoh, kita mungkin ingin menghitung semivarians untuk titik-titik yang terpisah 112 meter. Jika kita tidak fleksibel dan hanya menggunakan pasangan titik yang terpisah tepat 112 meter (dalam ketepatan sistem pengukuran kita), kita mungkin hanya memiliki sedikit, atau bahkan mungkin tidak ada titik yang memenuhi kriteria ketat ini. Dengan mengizinkan toleransi, jarak yang plus atau minus toleransi itu dari jarak lag yang diberikan dapat digunakan untuk menghitung variabilitas spasial. Misalnya, kita mungkin menetapkan toleransi untuk h dari 10 unit. Setiap pasangan titik antara 102 dan 122 unit terpisah digunakan untuk menghitung indeks kovarians spasial untuk jarak lag h = 112.

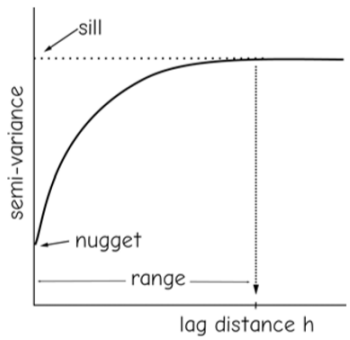
Prediksi geostatistik menggunakan konsep kunci semivarians untuk mewakili kovarians spasial. Sebuah semivarians adalah varians berdasarkan sampel terdekat, dan didefinisikan secara matematis sebagai:

$$\gamma(h) = 1/2n * \sum(Z_a - Z_b)^2$$

di mana Za adalah variabel yang diukur pada satu titik, Zb adalah variabel yang diukur pada titik lain yang berjarak h, dan n adalah jumlah pasangan yang berjarak kira-kira pada jarak h.

Semivarians pada jarak lag tertentu adalah ukuran autokorelasi spasial pada jarak tersebut. Perhatikan bahwa ketika titik-titik terdekat (h kecil) serupa, perbedaannya (Z_a – Z_b) kecil, sehingga semivariansnya kecil. Autokorelasi spasial yang tinggi berarti titik-titik yang berdekatan memiliki nilai Z yang serupa.

Semivarians dapat dihitung untuk setiap h. Misalnya, ketika h=1, semivarians, (h) mungkin sama dengan 0,3; ketika h=2, maka (h) mungkin 0,5; ketika h=3, maka (h) mungkin 0,8.

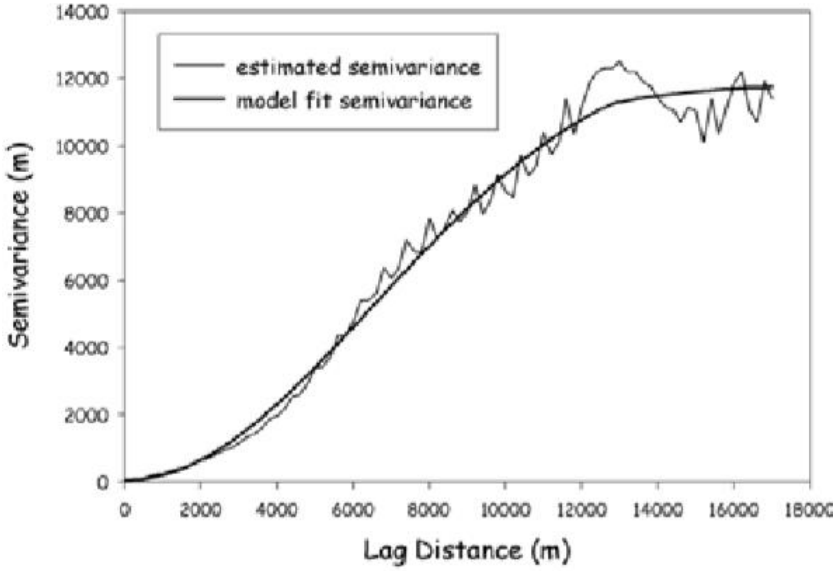


Gambar 12.12: Sebuah variogram ideal, dengan nugget, ambang, dan jangkauan diidentifikasi.

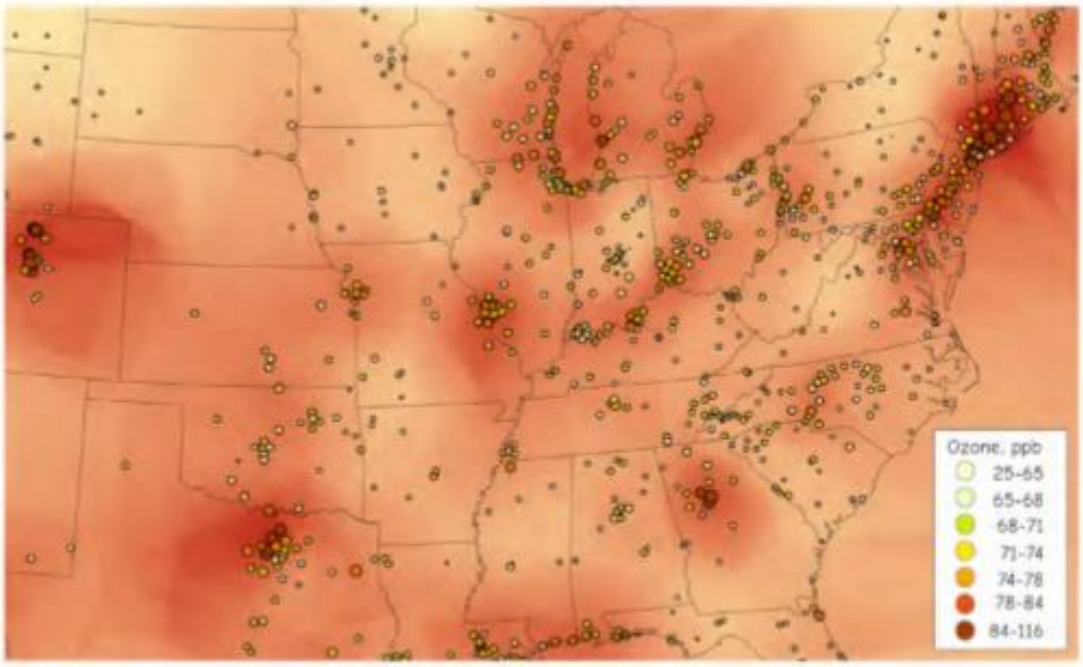
Kita dapat menghitung semivarians asalkan ada pasangan titik yang cukup dengan jarak h untuk memberikan perkiraan yang baik. Kita dapat memplot semivarians pada rentang jarak lag, dan plot ini dikenal sebagai variogram atau semivariogram. Sebuah variogram merangkum autokorelasi spasial dari suatu variabel. Perhatikan bahwa semivarians biasanya kecil pada jarak lag kecil, dan meningkat ke dataran tinggi dengan meningkatnya jarak lag h. Ini adalah bentuk khas dari variogram. Nugget adalah semivarians awal ketika autokorelasi biasanya tertinggi. Nugget ditunjukkan di sebelah kiri diagram pada Gambar diatas, semivarians pada jarak lag nol. Ini adalah intersep dari variogram. Ambang adalah titik di mana variogram turun.

Ini adalah varians "latar belakang", dan dapat dianggap sebagai variasi yang melekat ketika ada sedikit autokorelasi. Rentang adalah jarak lag di mana ambang tercapai. Nugget, sill, dan range akan berbeda antar variabel spasial.

Satu set titik sampel digunakan untuk memperkirakan bentuk variogram. Pertama, satu set jarak lag h_1, h_2, h_3, dll, didefinisikan; setiap jarak menandakan jarak lag yang diberikan, plus atau minus toleransi lag. Semivarians kemudian dihitung untuk setiap jarak lag. Sebuah contoh ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 12.13 : Variogram, plot semivarians yang dihitung dan cocok vs. jarak lag.



Gambar 12.14: Titik sampel dan nilai prediksi dari aplikasi kriging ke data ozon. Ada banyak alternatif bentuk pemasangan model kriging, dipilih berdasarkan kecocokan model varigram, dan pada sampel ditentukan jarak interpolasi.

Prediksi spasial adalah salah satu aplikasi yang paling penting dari model variogram. Ada banyak variasi dan jenis model kriging, tetapi yang paling sederhana dan paling umum diterapkan bergantung pada variogram untuk memperkirakan bobot "optimal" untuk prediksi. Bobot ini digunakan untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tidak diketahui dengan:

$$Q = \sum_{j=1}^{n} W_j * V$$

di mana Q adalah nilai taksiran pada titik yang tidak terukur, wj adalah bobot untuk setiap sampel j, dan v adalah nilai yang diketahui pada titik sampel j.

Bobot optimal dalam arti bahwa mereka meminimalkan kesalahan dalam prediksi, dan mereka tidak bias, diberikan set data dan model tertentu. Perhitungan bobot optimal memerlukan beberapa matematika yang agak terlibat, di luar ruang lingkup kami saat ini, tetapi dijelaskan dengan sangat rinci dalam referensi yang tercantum di akhir bab ini.

Memperkirakan setiap wj melibatkan proses minimisasi terbatas. Serangkaian rumus dapat ditulis yang menyatakan kesalahan sebagai perbedaan antara nilai yang diukur dan nilai yang diprediksi oleh fungsi dari serangkaian bobot yang tidak diketahui. Himpunan rumus ini diselesaikan di bawah kendala bahwa bobot berjumlah nol dan varians kesalahan diminimalkan. Solusinya melibatkan penghitungan nilai yang diharapkan dari kovarians antara titik-titik menurut model variogram, misalnya, dengan menyesuaikan hubungan yang mulus antara titik-titik semivariogram yang diamati, seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas. Kovarians adalah fungsi dari jarak lag spesifik yang diamati dalam sampel, dan digunakan untuk menyelesaikan himpunan bobot optimal.

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, kriging mirip dengan interpolasi IDW di mana rata-rata tertimbang dihitung. Namun; kriging menggunakan metode varians minimum untuk menghitung bobot, daripada menerapkan beberapa skema pembobotan yang sewenang-wenang dan mungkin lebih tidak tepat seperti dengan IDW.

Co-kriging adalah perpanjangan dari kriging yang mencakup pengukuran variabel yang terpisah dan berkorelasi di lokasi sampel selain variabel yang diinginkan. Mungkin ada variabel sekunder yang mudah diukur yang sampai batas tertentu terkait dengan variabel primer, tetapi itu lebih mudah atau lebih murah untuk diukur. Dalam banyak analisis, suhu mungkin menjadi variabel utama dan ketinggian variabel sekunder. Co-kriging mengeksploitasi kovarians antara variabel primer dan sekunder untuk meningkatkan estimasi variabel primer. Co-kriging serupa dalam motivasi dengan kriging dalam satu set bobot optimal diperkirakan, tetapi dengan cokriging ada bobot untuk variabel primer dan sekunder.

Prediksi spasial dengan kriging, co-kriging, dan metode geostatistik lainnya dapat menjadi proses yang kompleks dan bernuansa. Ada berbagai macam model yang mungkin cocok, dan ini sebagian tergantung pada karakteristik data. Karakteristik data yang berbeda menunjukkan metode pemodelan atau bentuk model tertentu, misalnya, jika ada tren dalam data, atau perbedaan arah dalam varians. Pertimbangan ini berada di luar cakupan diskusi kami saat ini, dan pembaca yang tertarik dirujuk ke perawatan yang lebih lengkap, seperti Isaaks dan Srivastava (1989), dan Burrough dan McDonnell (1998) terdaftar di bawah bacaan yang disarankan di akhir bab ini.

12.4.4 Akurasi Interpolasi

Halaman sebelumnya menjelaskan alat untuk memperkirakan variabel penting di lokasi yang tidak diketahui. Hal ini menimbulkan pertanyaan penting: Seberapa akurat permukaan yang diinterpolasi cocok dengan permukaan sebenarnya, dan metode interpolasi mana yang harus digunakan? Meskipun jawabannya seringkali merupakan model yang paling akurat, terkadang tidak, seperti ketika ada model yang hampir sama akuratnya yang membutuhkan sampel lebih sedikit, lebih kuat, memiliki lebih sedikit parameter, atau lebih mudah dibuat. Penilaian model adalah bidang yang dikembangkan dengan baik, dan tidak akan ditinjau secara menyeluruh di sini, tetapi beberapa konsep dan teknik utama akan diperkenalkan.

Kami akan fokus di sini untuk menentukan keakuratan perkiraan permukaan yang diberikan. Ketika berulang kali menginterpolasi jenis masalah yang sama, kami juga akan berusaha mengidentifikasi metode interpolasi yang unggul secara konsisten, tetapi ini adalah proses kompleks yang kami serahkan pada teks yang lebih maju; namun, itu tergantung pada ukuran akurasi yang kami perkenalkan di sini.

Akurasi diukur pada titik penilaian, lokasi di mana kita mengetahui nilai sebenarnya dan nilai taksiran untuk suatu variabel. Kita sering menggambarkan kumpulan sampel dengan n titik, dengan nilai taksiran atau interpolasi pada setiap titik ke-i yang dilambangkan dengan Pi, dan nilai benar atau nilai yang diamati pada titik yang dilambangkan dengan Oi. Setiap poin penilaian memberikan perkiraan kesalahan:

$$e_i = P_i - Q_i$$

Ada beberapa metrik yang biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi kesalahan agregat, mungkin yang utama di antaranya adalah kesalahan kuadrat rata-rata akar:

$$RMSE = \left[\left(\sum_{i=1}^{n} e_i^2\right) / \, n\right]^{0.5}$$

Nilai kesalahan dikuadratkan untuk menghilangkan efek tanda, dan kemudian akar kuadrat diambil dari jumlah untuk kembali ke skala satuan terukur, bukan skala satuan kuadrat. Prediksi baik di atas atau di bawah nilai yang diamati umumnya dianggap sama buruknya, dan kesalahan dirata-ratakan untuk semua sampel. Namun, mengkuadratkan kesalahan memperbesar pengaruh outlier, kesalahan positif atau negatif yang sangat besar, sehingga beberapa orang berpendapat bahwa ini adalah perkiraan kesalahan yang terlalu pesimis, atau setidaknya ketika ada outlier besar.

Kesalahan absolut rata-rata adalah metrik kesalahan alternatif, lebih jarang digunakan tetapi kurang sensitif terhadap outlier daripada RMSE. MAE didefinisikan sebagai:

$$MAE = \left[\left(\sum_{i=1}^{n} |e_i|\right) / \, n\right]$$

Ini menggantikan operasi nilai absolut untuk operasi kuadrat/akar kuadrat dan karenanya kurang sensitif terhadap outlier, tetapi sebaliknya sangat mirip dengan RMSE

Metrik akurasi lainnya adalah kesalahan bias rata-rata:

$$MBE = \left[\left(\sum_{i=1}^{n} |e_i|\right) / \, n\right]$$

MBE mengukur bias rata-rata dalam prediksi, jumlah di mana, rata-rata, permukaan yang diperkirakan melebihi atau meremehkan nilai sebenarnya. MBE menyampaikan informasi yang berguna secara keseluruhan, tetapi memberikan sedikit informasi tentang besarnya kesalahan individu dan harus digunakan bersama dengan RMSE, atau lebih disukai, MAE.

Ukuran keseluruhan kesepakatan antara perkiraan dan permukaan sebenarnya telah diusulkan, termasuk indeks kesepakatan Willmott:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2}$$

dengan

$$P_i = P_i - O$$

dan

$$O'_i = O_i - O$$

Kutipan utama dari ini dan metrik akurasi lainnya disediakan di akhir bab ini, dan dalam literatur yang cukup tentang interpolasi dan estimasi spasial.

Menilai keakuratan permukaan yang diinterpolasi mengharuskan kami mengumpulkan nilai yang diamati dan diprediksi pada satu set titik. Dalam penilaian yang ideal, ini tidak tergantung pada sampel yang kami gunakan untuk memperkirakan permukaan, tetapi ini jarang memungkinkan. Sampel seringkali mahal, sulit dikumpulkan, dan jarang, dan sebagian besar permukaan yang diinterpolasi akan mendapat manfaat dari pengambilan sampel tambahan. Jika setiap sampel baru secara material dapat meningkatkan interpolasi kami, kami kesulitan menahannya sebagai cadangan untuk penilaian akurasi. Kami tergoda untuk menggunakan sebagian besar atau semua sampel kami saat interpolasi, dan meninggalkan sedikit atau tidak sama sekali untuk penilaian akurasi.

Interpolator yang tepat sangat menjengkelkan. Seperti yang mungkin Anda ingat, poligon Thiessen, pembobotan jarak terbalik, dan beberapa interpolator spline memiliki kesalahan nol di semua titik sampel menurut definisi, karena mereka dirumussikan untuk secara tepat mengembalikan nilai yang diamati pada titik yang dipasang. Orang mungkin berpikir bahwa kita harus menyimpan satu set poin sebagai cadangan untuk mendapatkan perkiraan akurasi interpolator yang sebenarnya.

Ada sebuah teknik, yang dikenal sebagai leave-one-out, bootstrap, atau crossvalidation, yang membahas persyaratan estimasi akurasi undersampling dan robust. Bootstrapping melibatkan pemasangan permukaan sebanyak titik sampel, setiap kali menahan salah satu titik. Kami menyesuaikan permukaan pertama kali, menahan poin pertama. Kami kemudian dapat mengurangi nilai terukur yang ditahan (O_1) ke nilai interpolasi (P_1), dan mendapatkan satu perkiraan kesalahan. Kami kemudian mengulangi proses ini untuk sisa titik sampel. Untuk n sampel, kita cocok dengan permukaan sebanyak n kali. Kita kemudian dapat membandingkan nilai sebenarnya dari titik yang ditahan, O_i, dengan nilai fit P_i, memberikan kita n nilai kesalahan, e_i.

Sayangnya, sebagian besar alat interpolasi permukaan di GIS tidak mendukung bootstrap atau metode validasi serupa. Ini sangat disayangkan, dua kali lipat karena mereka biasanya hanya memberikan nilai RMSE, dan kemudian hanya tanpa bootstrap atau validasi silang lainnya, dan untuk interpolator yang tidak tepat. RMSE yang diperkirakan dari titik fit tanpa bootstrap mungkin memberikan perkiraan akurasi yang optimis, terutama ketika ukuran sampel kecil, dan tidak boleh diterima sebagai pengganti bootstrap atau validasi serupa.

Ini harus diperbaiki, jika tidak dalam perangkat lunak GIS spesifik yang digunakan dalam pemasangan, kemudian dengan mengekspor data sampel ke sistem pemasangan permukaan yang berorientasi statistik; misalnya, paket statistik open source R.

12.5 Pemetaan Area Inti

pemetaan area adalah alat analisis spasial lain yang umum dan berguna. Area inti adalah area pengaruh atau aktivitas utama untuk organisme, objek, atau sumber daya yang diminati. Detektif mungkin ingin memetakan serangkaian perampokan untuk mengungkap pengelompokan atau pola yang terjadi. Manajer satwa liar mungkin ingin memetakan wilayah jelajah organisme yang terancam punah, atau pemilik bisnis lokasi rumah pelanggannya.

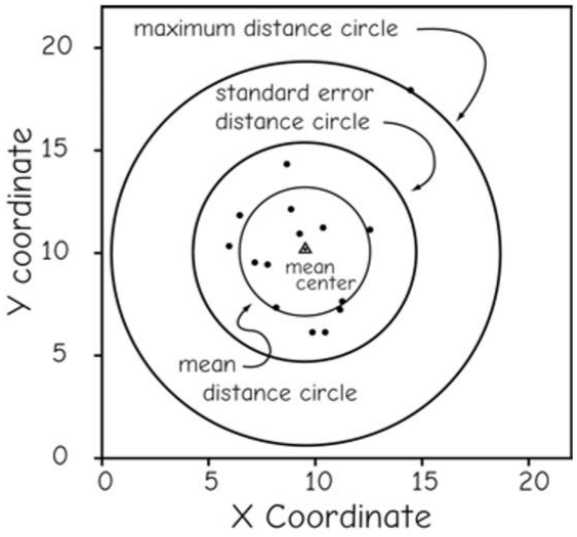
Pemetaan area inti biasanya melibatkan pengidentifikasian fitur area (poligon, area raster, atau volume) dari serangkaian pengamatan titik atau garis. Pencurian individu, misalnya, dicatat sebagai lokasi titik, mungkin ditandai dengan alamat atau gedung tempat terjadinya. Titik-titik ini dapat digunakan untuk mendefinisikan poligon dengan salah satu dari beberapa teknik pemetaan area inti. Dengan cara ini, area inti adalah objek spasial (area) berdimensi lebih tinggi yang didefinisikan dari sekumpulan objek berdimensi lebih rendah (titik atau garis). Area inti ini mewakili beberapa wilayah pusat atau penting di mana fitur sering terjadi, dalam contoh ini, perampokan. Sumber daya tambahan dapat difokuskan pada area inti ini, seperti peningkatan patroli atau pengawasan.

Pemetaan area inti umumnya digunakan. Mungkin aplikasi yang paling sering sampai saat ini melibatkan analisis pola aktivitas manusia, khususnya kejadian kejahatan, seperti yang diilustrasikan pada contoh sebelumnya. Selain itu, kerapatan spesies tumbuhan dan hewan sering dianalisis dan diringkas dengan menggunakan metode ini, terutama ketika organisme tersebut bernilai tinggi atau terancam punah. Manajer sumber daya merekam kejadian organisme di lapangan, mungkin menggunakan GPS atau teknologi penentuan posisi spasial lainnya. Pengamatan ini dapat digabungkan dan pola kelimpahan dianalisis setelah jumlah pengamatan yang cukup dikumpulkan. Area inti dapat diidentifikasi, dan kondisi atau persyaratan habitat utama dapat disimpulkan. Ini dapat memandu tindakan manajemen seperti perlindungan

kawasan dengan konsentrasi tinggi spesies yang terancam punah dan peningkatan kawasan lain dengan menambahkan persyaratan habitat utama.

12.5.1 Pusat Rata-rata dan Lingkaran Rata-rata

Pusat rata-rata dan lingkaran rata-rata terkait mungkin merupakan ukuran paling sederhana dan paling jelas dari lokasi pusat dan area inti. Pusat rata-rata hanyalah koordinat rata-rata x dan y dari titik sampel. Setiap titik sampel memiliki pasangan koordinat yang terkait. Ini dapat dijumlahkan dan dihitung rata-ratanya, dan titik rata-rata ini diidentifikasi sebagai pusat area inti.



Gambar 12.15: Contoh pusat rata-rata dan lingkaran rata-rata yang sesuai untuk sekumpulan titik sampel.

Lingkaran rata-rata dapat diasosiasikan dengan pusat rata-rata untuk menentukan area inti. Lingkaran rata-rata didefinisikan oleh jari-jari yang diukur dari pusat rata-rata. Jari-jari lingkaran rata-rata biasanya jarak ke titik sampel terjauh, jarak rata-rata dari pusat rata-rata ke himpunan titik sampel, atau beberapa ukuran statistik lainnya berdasarkan varians jarak ke titik sampel. Jarak ini dapat dihitung dengan mudah dari sampel koordinat x dan y, pertama dengan menghitung rata-rata, dan kemudian dengan menerapkan rumus umum untuk menghitung jarak dari titik sampel ke pusat rata-rata. Jarak terbesar, jarak rata-rata, atau standar deviasi jarak dari titik ke pusat kemudian dapat ditentukan.

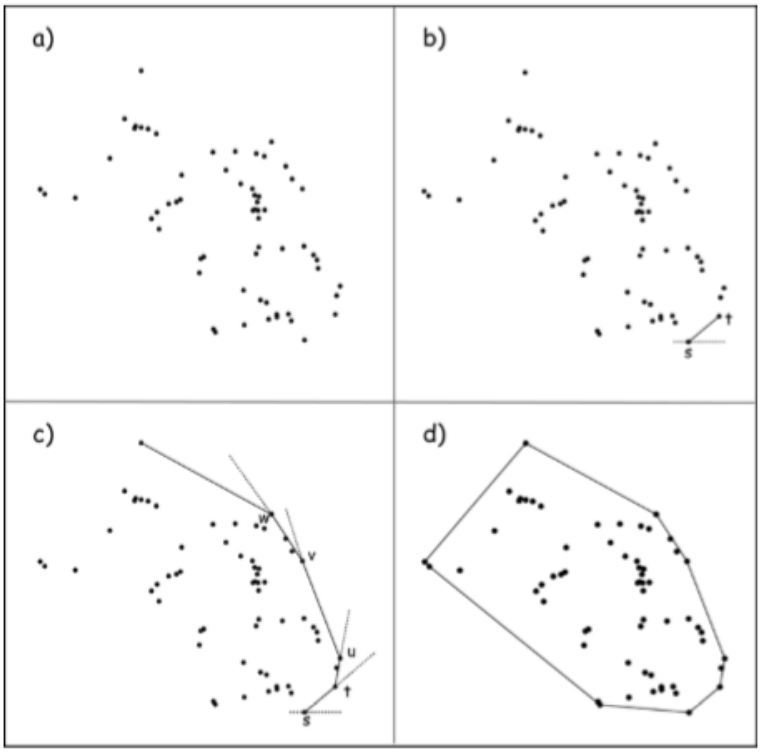
Lingkaran rata-rata memiliki keuntungan dari kesederhanaan dan kemudahan konstruksi, tetapi mereka mengasumsikan bentuk melingkar yang seragam untuk area inti. Beberapa ukuran pusat rata-rata mungkin bias oleh titik-titik ekstrim; misalnya jarak maksimum lingkaran pada gambar. Perhatikan bahwa outlier dekat x = 15 dan y = 17,5 menghasilkan lingkaran jarak maksimum yang besar. Lingkaran ini berisi area substansial tanpa titik di dekatnya, dan mungkin merupakan perkiraan yang terlalu tinggi dari area inti. Tidak jelas bahwa jarak rata-rata atau lingkaran jarak kesalahan standar lebih baik dalam mendefinisikan area inti. Area inti yang ditentukan oleh langkah-langkah ini mungkin sesuai untuk beberapa aplikasi, tetapi seringkali terlalu kecil untuk yang lain. Beberapa kelipatan jarak rata-rata atau kesalahan standar dapat dipilih berdasarkan asumsi statistik, atau pengalaman masa lalu. Misalnya, jika kita mengasumsikan sampel mengikuti distribusi normal acak, maka area inti yang ditentukan oleh lingkaran kira-kira 1,8 kali jarak kesalahan standar harus berisi 68% data. Pengalaman sebelumnya dapat membantu; misalnya, orang mungkin tahu bahwa di wilayah tertentu 90% atau lebih dari area inti paket serigala berada dalam jarak 10,8 km dari pusat rata-rata.

Dalam banyak kasus, area inti lingkaran tidak optimal karena banyak variabel diketahui menunjukkan bentuk tidak beraturan dan area inti lingkaran diidentifikasi saat menggunakan metode mean center / mean circle. Sementara metode lingkaran rata-rata sering digunakan dalam analisis data eksplorasi, metode lain telah dikembangkan untuk lebih efektif mengidentifikasi area inti berbentuk tidak teratur.

12.5.2 Lambung Cembung

Gambar 12.16: Himpunan titik (a) dapat diapit dengan menghubungkan titik-titik "terluar" dalam himpunan tersebut. "Lambung" ini mendefinisikan poligon. Lambung dapat dicirikan sebagai cekung (b), ketika beberapa sudut luar kurang dari 180 derajat, atau cembung (c), ketika semua sudut luar lebih besar atau sama dengan 180 derajat.

Lambung cembung, juga dikenal sebagai poligon cembung minimum, mungkin merupakan cara paling sederhana untuk mengidentifikasi area inti dengan bentuk tidak beraturan. Convex hull adalah poligon terkecil yang dibuat oleh tepi (garis) yang sepenuhnya melingkupi satu set titik dan yang semua sudut luar antara tepi lebih besar dari atau sama dengan 180 derajat. Sudut luar diukur dari satu sisi atau sisi ke sisi lain melalui daerah "di luar" poligon. Kotak, segitiga, dan segi lima beraturan adalah contoh lambung cembung, sedangkan bintang dan salib adalah contoh lambung tidak cembung. Meskipun angka-angka geometris ini memiliki bentuk yang teratur, sebagian besar lambung cembung yang berasal dari titik sampel tidak.



Gambar 12.17: Lambung cembung untuk sekumpulan titik (a) dapat dihitung dari algoritma sapuan. Dimulai dengan titik ekstrim seperti s (b), sudut defleksi minimum berturut-turut dipilih (c) sampai titik awal tercapai (d).

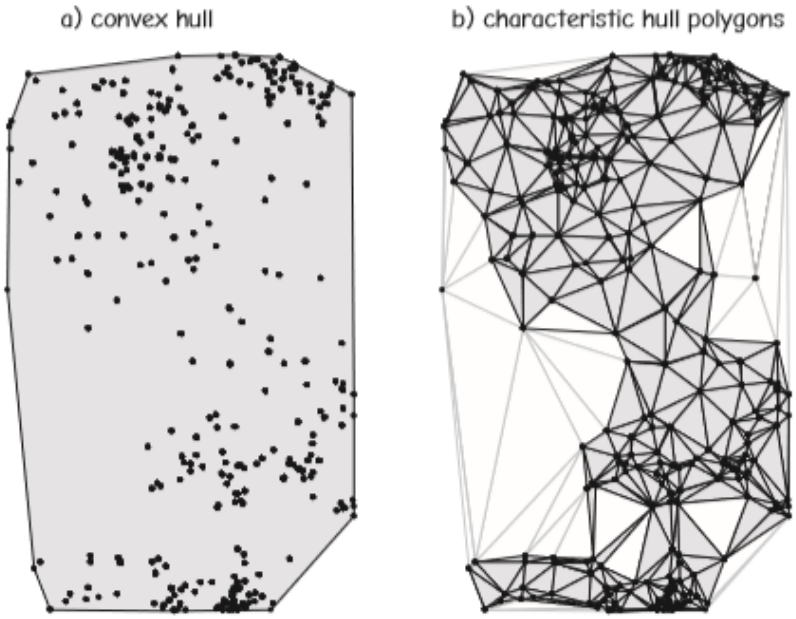
Lambung cembung sering dianggap sebagai area pembatas alami untuk sekumpulan titik. Pernyataan ini diterima oleh sebagian besar analis ketika tidak ada titik data yang jauh, jauh dari yang lain. Ketika outlier hadir, lambung cembung sering kali terlalu besar.

Convex hulls banyak digunakan karena mudah untuk dikembangkan dan diinterpretasikan, dan sedikit atau tidak ada subjektivitas dalam penerapannya. Bentuk poligon cembung ditentukan semata-mata oleh susunan titik sampel, dan bukan dengan mengontrol parameter yang harus ditentukan oleh manusia yang menerapkan metode tersebut. Mereka mewakili bentuk tidak teratur yang umum untuk sebagian besar pengambilan sampel.

Convex hull dapat dengan mudah dibuat dengan algoritma "sweep" yang diterapkan pada sekumpulan titik sampel (Gambar a). Ini adalah lokasi peristiwa yang menarik, misalnya, pengamatan hewan langka atau lokasi kejahatan. Titik ekstrim diidentifikasi dari himpunan, biasanya sampel dengan koordinat x atau y terbesar atau terkecil (titik s pada Gambar). Sudut defleksi dari titik saat ini ke semua titik lainnya dihitung, dan sudut positif terkecil searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam dan titik yang sesuai diidentifikasi (titik t pada Gambar b). Titik ini merupakan titik selanjutnya pada convex hull, dan menjadi titik awal untuk perhitungan selanjutnya. Proses ini diulang sampai titik awal tercapai (Gambar c dan d).

Lambung cembung sering dianggap sebagai area pembatas alami untuk sekumpulan titik. Namun, lambung cembung sering mengabaikan pengelompokan dalam data. Kumpulan titik-titik yang padat di wilayah interior tidak mempengaruhi bentuk area inti. Kami kehilangan banyak informasi tentang kerapatan atau frekuensi kemunculan di wilayah interior poligon pembatas. Algoritma yang mendefinisikan poligon cekung optimal telah dikembangkan, umumnya menyesuaikan lambung cembung ke subset berturut-turut dari titik batas, dan membuang titik outlier, atau area yang ditentukan oleh titik terluar. Salah satu metode tersebut dijelaskan selanjutnya.

12.5.3 Karakteristik Poligon Lambung



Gambar 12.18 : Contoh area inti yang ditentukan oleh lambung cembung (a), dan poligon lambung karakteristik (CHP, dalam b). Area yang diarsir ditawarkan sebagai area inti, dengan

kepadatan sampel yang lebih kecil, lebih tinggi, dan area yang bisa dibilang lebih akurat yang diidentifikasi oleh CHP.

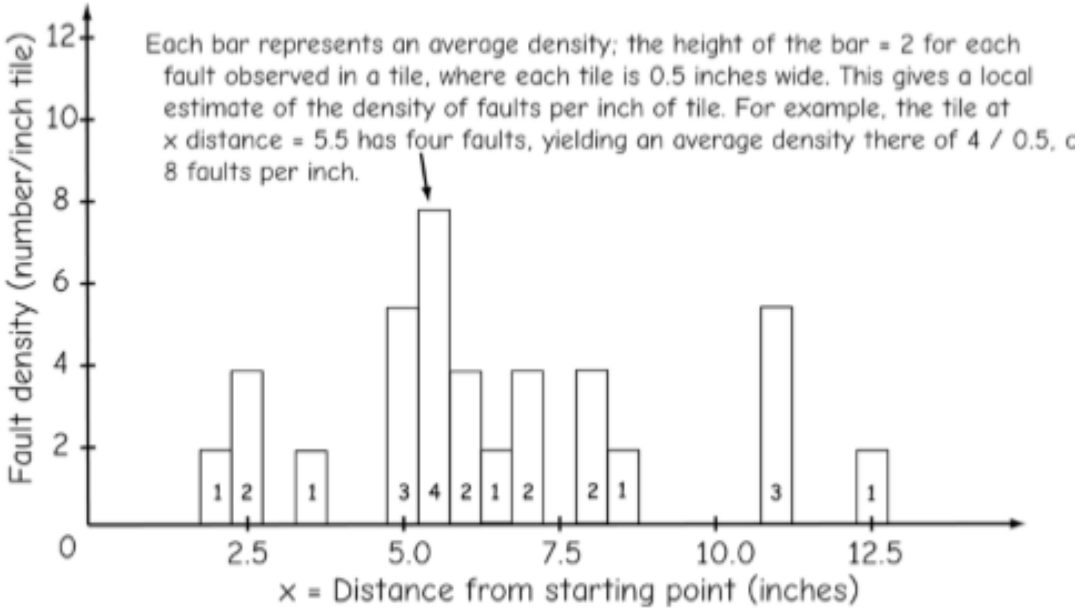
Sebuah alternatif untuk lambung cembung telah dikembangkan, yang dikenal sebagai poligon lambung karakteristik (CHP). Triangulasi Delaunay dibuat di antara titik sampel, metode yang sama ketika mengembangkan jaringan tidak beraturan triangulasi. Satu set segitiga rentang minimum dibuat, dan set segitiga ini ditampi untuk menghapus area terbesar atau subset perimeter terpanjang. Gambar a menunjukkan sekumpulan titik sampel dan lambung cembung yang dihasilkan, sedangkan Gambar b menunjukkan triangulasi Delaunay untuk kumpulan titik yang sama. Dalam contoh ini, 5% poligon teratas dengan perimeter terpanjang telah dibuang, dan sisanya diarsir untuk mewakili area inti. Ini mengurangi pengaruh titik yang jauh dan memungkinkan "lubang" tertanam di dalam area inti, dua keunggulan dibandingkan lambung cembung.

Seseorang harus memilih apakah akan menggunakan luas, keliling, atau ukuran metrik lainnya, sehingga ukuran dan bentuk CHP yang dihasilkan bergantung pada nilai ambang yang dipilih, misalnya, 5 vs. 10

poligon terbesar; namun, metode ini mudah diterapkan dan bisa dibilang memberikan perkiraan area inti yang lebih baik jika dibandingkan dengan lambung cembung, terutama jika sering terjadi outlier.

12.5.4 Pemetaan Kernel

Pemetaan kernel menggunakan satu set lokasi sampel untuk memperkirakan permukaan kerapatan kontinu. Pemetaan kernel diterapkan secara luas karena secara matematis fleksibel, relatif mudah diterapkan, mungkin kuat untuk outlier, mudah menggabungkan sampel berkerumun, dapat mewakili daerah inti berbentuk tidak teratur, dan sering berbasis statistik.



Gambar 12.19: Pemetaan kernel didasarkan pada konsep distribusi pengamatan di ruang angkasa. Setiap pengamatan memberikan kontribusi informasi tentang distribusi kumulatif kami dan pengamatan digabungkan untuk mendekati distribusi kumulatif kami.

Pemetaan kernel didasarkan pada distribusi kepadatan yang diasumsikan untuk setiap titik sampel. Distribusi densitas ini ditempatkan di atas bidang sampel, satu untuk setiap titik pengamatan, dan ditambahkan secara vertikal untuk menentukan densitas komposit dari sampel. Kepadatan komposit ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi area inti, memilih area terpadat terlebih dahulu.

Sebuah contoh akan membantu mengilustrasikan ide-ide ini dan proses pemetaan kernel. Pertimbangkan sampel untuk mendeteksi kepadatan cacat di lantai ubin. Setiap ubin berukuran 0,5 inci. Kami menghitung jumlah cacat per ubin, mulai dari salah satu tepi mosaik ubin. Kami akan menunjukkan sampel yang dikumpulkan di sepanjang garis, tetapi proses dan prinsipnya serupa dalam dua dimensi.

Gambar diatas menunjukkan hasil sampling sepanjang segmen garis. Satu cacat, atau kesalahan, ditemukan pada ubin yang terletak 2 inci dari awal, dan itu diwakili oleh persegi panjang dua unit. Setiap patahan mewakili kepadatan dua unit, karena setiap ubin berukuran 0,5 inci—maka 1/0,5 = 2 patahan/in. Kami mengamati dua sesar pada 2,5 in (empat sesar/in), satu pada 3,5 in, dan pengamatan tambahan hingga sesar terakhir kami diamati pada 12,5 in. Perhatikan bahwa kerapatannya berbentuk persegi panjang yang "ditumpuk" dua satuan tinggi untuk setiap kesalahan diamati untuk ubin.

Perhatikan dua hal tentang perkiraan kepadatan. Pertama, kita asumsikan bentuk karakteristik untuk densitas yang diperoleh dari setiap pengamatan. Pada Gambar diatas kita mengasumsikan bentuk persegi panjang untuk setiap pengamatan, dengan kerapatan seragam di seluruh ubin

Ini mungkin tidak benar, tetapi dalam kasus kami, kami menggunakan sampel diskrit, sehingga ini adalah perkiraan yang valid. Secara umum bentuk ini disebut distribusi densitas. Bentuk karakteristik (distribusi densitas) ini kemudian ditempatkan untuk setiap sampel yang diamati; misalnya, perhatikan bahwa ada persegi panjang yang ditempatkan untuk setiap cacat yang kita amati pada jarak dari titik awal pada Gambar.

Kedua, perhatikan bahwa bentuk (distribusi densitas) ditambahkan secara vertikal di area di mana mereka bertepatan. Dalam contoh kita, persegi panjang ditumpuk. Dengan distribusi kepadatan yang lebih kompleks dan terdefinisi secara matematis, nilai-nilai ditambahkan pada setiap titik. Distribusi kepadatan kumulatif adalah jumlah dari distribusi yang terkait dengan setiap sampel.

Distribusi densitas biasanya bukan bujur sangkar atau figur geometris lainnya, melainkan bentuk simetris seperti parabola, kurva Gaussian, atau permukaan yang berubah-ubah halus di sekitar titik pusat. Bentuk-bentuk ini dapat didefinisikan secara matematis dan ditentukan untuk setiap titik sampel. Misalnya, kurva Gaussian umum untuk satu variabel memiliki bentuk:

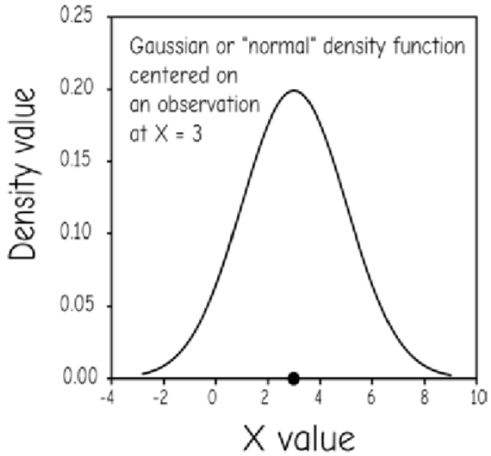
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} * e^{\frac{-(x-x_0)^2}{2\sigma^2}}$$

di mana x_o adalah lokasi sampel dan adalah konstanta skala. Ini adalah fungsi simetris tentang xo, artinya fungsi tersebut adalah bayangan cermin yang dipantulkan di kedua sisi titik xo. Perhatikan bahwa distribusi kerapatan pada gambar mencapai puncak di xo, dan area di

bawah kurva biasanya sama dengan satu. Rumus sering ditulis dengan 2 = 1, atau dapat diperbesar dengan membaginya dengan nilai h, sehingga muncul sebagai:

$$f(x) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} * e^{\frac{-(x-x_0)^2}{2h^2}}$$

Nilai h juga dikenal sebagai parameter bandwidth, dan dijelaskan dalam beberapa paragraf berikutnya.



Gambar 12.20: distribusi kepadatan diasumsikan, dan diplot untuk setiap pengamatan. Di sini pengamatan pada x = 3 (titik yang diplot) menghasilkan kurva berbentuk lonceng yang berpusat pada pengamatan.

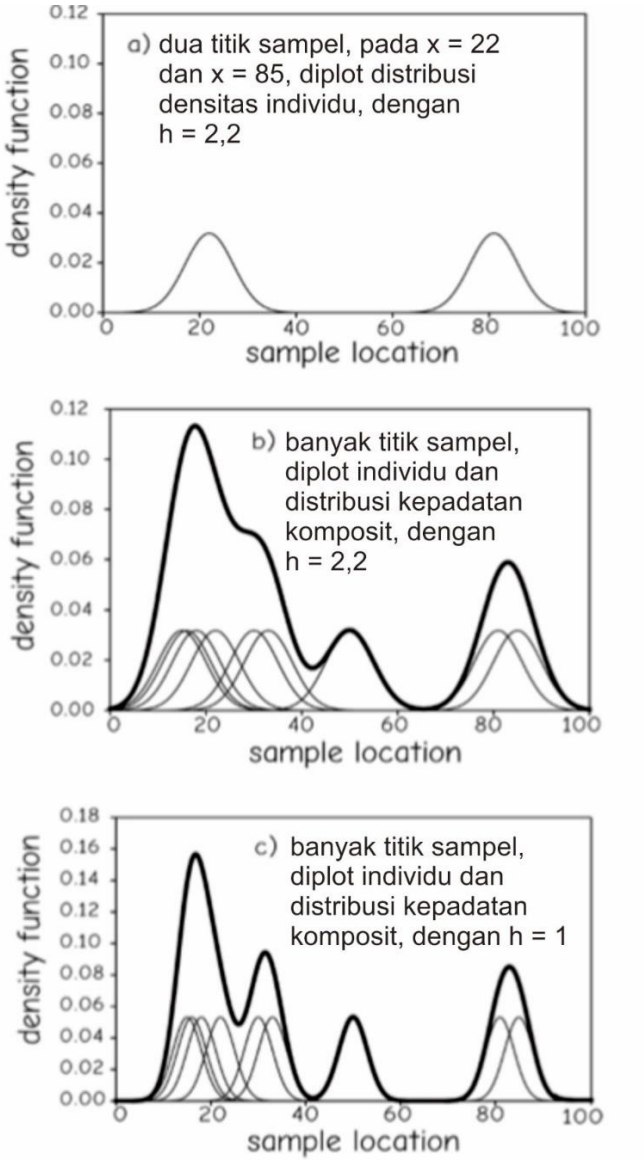
Banyak bentuk fungsional dapat digunakan untuk mewakili kepadatan kernel. Biasanya bentuk-bentuk ini adalah "benjolan", di mana mereka dengan mulus naik ke puncak dan kemudian turun mendekati nol. Bentuk berbeda dari fungsi kerapatan kernel mungkin memiliki bentuk karakteristik—seberapa cepat mereka mencapai puncak, seberapa runcing puncaknya, dan seberapa cepat mereka kembali ke nilai mendekati nol pada titik-titik yang lebih jauh dari puncak.

Distribusi densitas komposit dibuat dengan "menumpuk" distribusi densitas individu kami dari kumpulan pengamatan (Gambar a dan b). Distribusi densitas dapat diplot untuk setiap pengamatan; misalnya, dua dari banyak pengamatan ditunjukkan pada Gambar a. Setiap titik menghasilkan "benjolan" halus yang berpusat pada pengamatan

Ketika semua titik yang diamati diplot, ada sejumlah besar tonjolan kecil yang tumpang tindih, seperti yang ditunjukkan oleh garis tipis pada Gambar b. Ini kemudian dapat dijumlahkan secara vertikal untuk membuat distribusi kepadatan kumulatif, yang ditunjukkan oleh garis tebal pada Gambar b.

Kita sering memilih parameter bandwidth, dilambangkan dengan h, yang menentukan "spread" atau lebar dari distribusi kepadatan individu. Mungkin cara paling sederhana untuk memahami bandwidth adalah dengan memikirkan interval binning.. Di sana, kami menghitung cacat ubin untuk setiap 0,5 ubin, dan memplot persegi panjang yang sesuai dengan kepadatan kesalahan yang dihasilkan. Bandwidth kami ditetapkan pada 0,5 inci. Kami juga dapat menggunakan bandwidth 1 inci, menghitung jumlah cacat per dua ubin (1 inci), di sepanjang jalur pengambilan sampel kami. Ini akan memberikan perkiraan yang terkait, tetapi sedikit

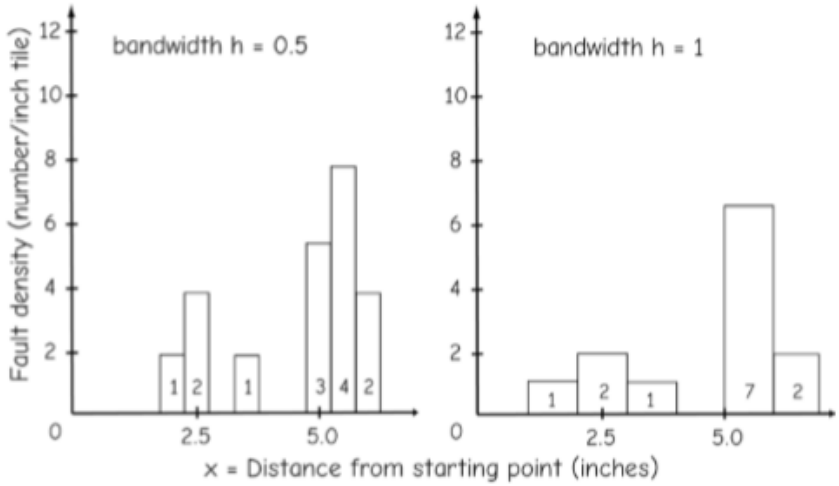
berbeda dari distribusi kepadatan cacat di sepanjang garis pengambilan sampel kami. Seperti yang ditunjukkan pada panel kanan Gambar, distribusi kerapatan yang diperkirakan untuk 7 in pertama dari garis sampel kami kurang "berpuncak" atau "berduri." Meskipun kumpulan sampel yang sama digunakan untuk memperkirakan kedua distribusi kepadatan, setiap pengamatan tersebar di interval yang lebih luas ketika kita memilih bandwidth yang lebih besar.



Gambar 12.21: Distribusi kepadatan individu dapat diplot untuk setiap pengamatan sampel, seperti yang ditunjukkan untuk dua titik dalam pengambilan sampel satu dimensi (a, di atas). Distribusi untuk seluruh kumpulan sampel diplot, dan ditambahkan untuk membuat perkiraan gabungan dari distribusi kepadatan (b). Kami biasanya memilih parameter bandwidth, h, yang mengontrol bentuk individu dan karenanya distribusi kepadatan komposit. Bandwidth yang lebih sempit menghasilkan puncak yang lebih tinggi dan lebih sempit (c).

Kami mengamati perubahan yang sama dalam peakedness ketika kami mengubah bandwidth untuk distribusi densitas kontinu. Sebuah sampel diplot menggunakan fungsi kepadatan Gaussian untuk setiap pengamatan dan bandwidth h = 2.2 pada Gambar b. Mengurangi

bandwidth menjadi h = 1 mempersempit bentuk untuk setiap sampel individu dan menghasilkan bentuk yang lebih tinggi, lebih sempit, lebih berpuncak dalam distribusi kumulatif yang ditunjukkan pada Gambar c.

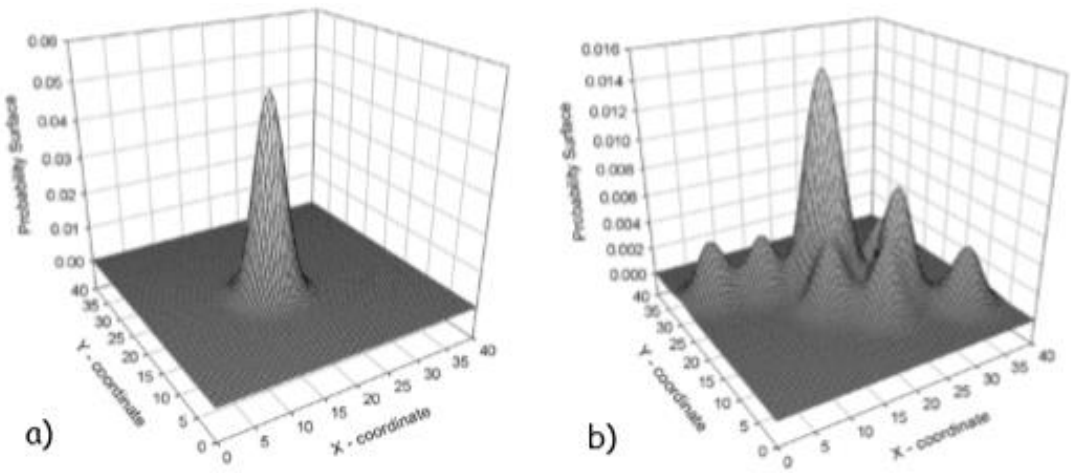


Gambar 12.22 : Kami memilih bentuk umum dari distribusi densitas, dan parameter bandwidth yang mempengaruhi bentuk distribusi. Di sini, bentuk persegi panjang dari kerapatan patahan menjadi lebih lebar dan lebih pendek karena bandwidth berubah dari 0,5 menjadi 1.

Pemetaan kernel umumnya merupakan proses tiga langkah, seperti yang dapat diduga dari diskusi sebelumnya. Pertama kami mengumpulkan sampel dan lokasi koordinat yang bersamaan. Kedua kita memilih fungsi kepadatan kernel. Akhirnya, kami memilih bandwidth, h, menerapkan distribusi densitas kernel, dan menjumlahkan di setiap area sampel untuk mencapai estimasi komposit densitas kami. Secara matematis, proses ini diringkas oleh rumus:

$$\lambda(x,y) = \frac{1}{nh^2} * \sum_{i=1}^{n} \frac{K(X_i, Y_i)}{h}$$

di mana λ(x,y) adalah distribusi kepadatan komposit, n adalah jumlah sampel, h adalah bandwidth, dan $K(x_i,y_i)$ adalah distribusi kepadatan individu yang diterapkan pada setiap titik sampel i.



Gambar 12.23: Kernel dapat digunakan untuk memetakan distribusi kepadatan melintasi permukaan dua dimensi. Distribusi densitas dari sampel individu (a) dijumlahkan untuk membuat estimasi komposit dari permukaan densitas (b).

Contoh estimasi densitas kernel ditunjukkan pada Gambar diatas. Titik sampel individu ditunjukkan pada Gambar a, dengan puncak tunggal yang sesuai dengan distribusi densitas Gaussian yang dipilih. Bentuk yang lebih kompleks dengan beberapa puncak terjadi ketika semua titik sampel diplot, seperti yang ditunjukkan pada Gambar b. Distribusi individu dijumlahkan secara vertikal, menghasilkan permukaan yang bergelombang dan kompleks. Permukaan ini mewakili kepadatan atau kemungkinan terjadinya variabel yang mendasarinya, misalnya, kepadatan cacat di lantai ubin, kepadatan kejahatan yang dipetakan di seluruh kota, atau kepadatan pemanfaatan untuk paket serigala di wilayah asalnya.

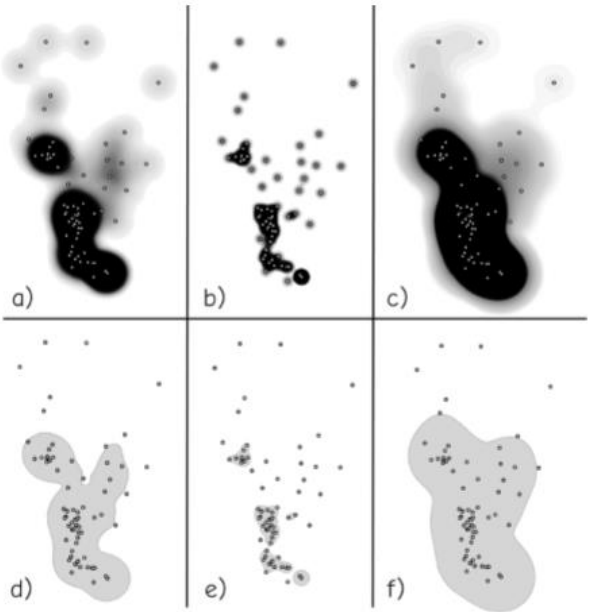
Sementara pilihan bandwidth mempengaruhi hasil kami, tidak ada metode terbaik yang seragam untuk memilih nilai yang sesuai untuk h. Salah satu metode yang umum diterapkan adalah memplot beberapa permukaan kerapatan, satu untuk masing-masing nilai h tertentu, dan memilih h yang paling mendekati persepsi Anda tentang kerapatan terbaik. Wawasan dalam distribusi dan perilaku kumpulan data sering diperoleh dengan menganalisis kepadatan di berbagai nilai bandwidth.

Ada rumus untuk bandwidth optimal dalam berbagai kondisi. Salah satu metode untuk menghitung bandwidth optimal telah diusulkan oleh Fotheringham et al. (2000) untuk kernel Gaussian:

$$h_{opt} = \left[\frac{2}{3n}\right]^{\frac{1}{4}} \sigma$$

di mana hopt adalah bandwidth optimum, n adalah jumlah sampel, dan adalah parameter simpangan baku, tidak diketahui, tetapi diperkirakan dari sampel.

Ada banyak rumus yang mendefinisikan bandwidth optimal, dan seseorang dihadapkan pada pilihan yang agak berbeda dalam memilih optimal yang benar.

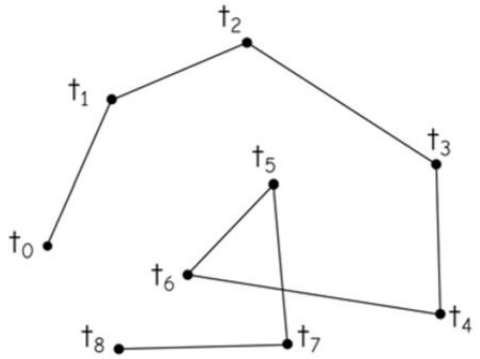


Gambar 12.24: Pemetaan kernel dapat digunakan untuk mengidentifikasi area inti, meskipun area yang akan ditentukan tergantung pada metode yang digunakan. Panel a sampai c menunjukkan distribusi densitas Gaussian untuk kumpulan sampel di bawah bandwidth yang bervariasi, sementara d sampai f menunjukkan area inti yang sesuai yang mencakup 90% dari distribusi densitas.

Delineasi area inti adalah penggunaan utama untuk estimasi distribusi kepadatan. Seperti yang diharapkan, area inti yang diidentifikasi bergantung pada bandwidth yang dipilih. Gambar diatas menunjukkan tampilan vertikal distribusi densitas dua dimensi untuk bandwidth optimum (a), di bawah optimal (b), dan di atas optimal (c). Nuansa abu-abu yang lebih gelap menunjukkan kepadatan yang lebih tinggi, dan perhatikan distribusi yang lebih sempit dan lebih terkonsentrasi pada bandwidth terendah (b) relatif terhadap bandwidth terbesar (c). Bandwidth yang berbeda ini menghasilkan poligon area inti yang berbeda (d hingga f)

12.5.5 Estimasi Kepadatan Waktu-Geografis

Penduga kepadatan telah dikembangkan untuk pemanfaatan ruang dengan memindahkan objek, biasanya hewan untuk analisis wilayah jelajah, meskipun terkadang objek lain. Suatu objek dapat diamati secara berkala melalui ruang angkasa, misalnya, ketika GNSS dipasang pada penguin yang bermigrasi, dan posisinya diteruskan ke stasiun pangkalan. Posisi ini sering disebut titik kontrol, karena mereka menetapkan lokasi objek yang dilacak pada titik waktu yang tetap. Urutan titik kontrol ini menentukan jalur. Meskipun lokasi antara pengamatan tidak dapat ditentukan secara tepat, titik kontrol membatasi di mana penguin mungkin berada, karena ada batas atas seberapa cepat burung dapat melakukan perjalanan. Kita dapat menetapkan kecepatan maksimum, v, baik dari pengamatan sebelumnya, dari upaya pelacakan saat ini, atau dari batas teoretis. Estimasi kepadatan waktu-geografis (TGDE) menggabungkan serangkaian titik kontrol berurutan dengan pengetahuan tentang kecepatan maksimum untuk memperkirakan probabilitas kejadian spasial.



Gambar 12.25: Urutan pengamatan pada objek yang bergerak, dari waktu awal (t0) hingga waktu akhir (t8).

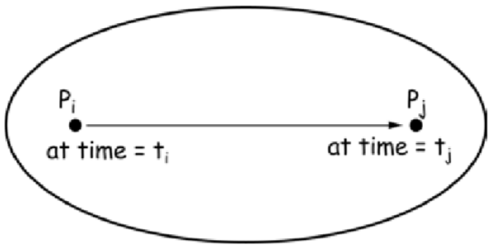
TGDE tergantung pada konsep geoelips antara dua titik. Jika Pi adalah titik kontrol pada waktu i dan Pj titik kontrol pada waktu j, maka geoelips gij dapat didefinisikan sebagai:

$$g_{ij} = \{P|[D(P, P_j) \leq ML]\}$$

di mana D(P, Pi) adalah jarak antara sembarang titik P dan titik kontrol Pi, dan ML adalah jarak maksimum yang dapat ditempuh objek antara titik kontrol berturut-turut Pi dan Pj. ML dapat diperkirakan dengan:

$$ML = (t_j - t_i) * v$$

dimana tj adalah waktu pengamatan titik kendali j, dan v adalah kecepatan maksimum benda.



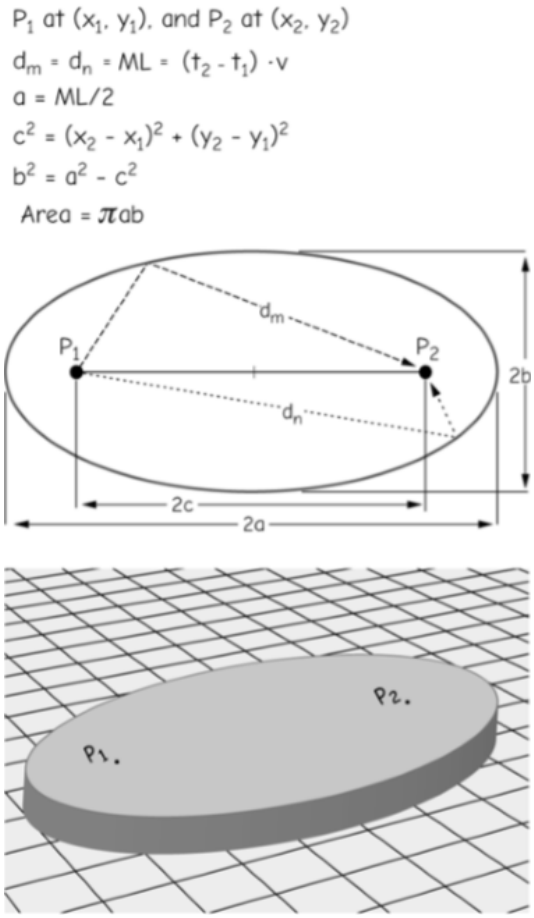
Gambar 12.26: Sebuah objek diperkirakan telah terkandung dalam elips, diberikan dua titik kontrol berikutnya. Elips menggambarkan jarak terjauh yang dapat dicapai suatu objek dalam setiap lintasan yang bergerak dari Pi dan Pj selama selang waktu ti ke tj.

Gambar diatas mengilustrasikan geoelips untuk dua titik kontrol, Pi dan Pj. Perhatikan bahwa fungsi jarak tidak harus berupa jarak Euclidian, tetapi biasanya demikian. Objek yang dilacak dibatasi untuk berada dalam elips yang ditarik, asalkan perkiraan kami tentang v valid. Ukuran dan bentuk elips bergantung pada jarak antara titik kontrol yang berurutan, interval waktu antara pengamatan, dan kecepatan maksimum yang mungkin. Titik-titik berurutan yang berdekatan satu sama lain relatif terhadap jarak maksimum, mengingat perbedaan waktu dan kecepatan maksimum, akan tertutup dalam elips yang hampir melingkar, sedangkan titik-titik berurutan yang sangat dekat dengan jarak maksimum yang mungkin akan bergabung dengan elips yang panjang dan sangat sempit.

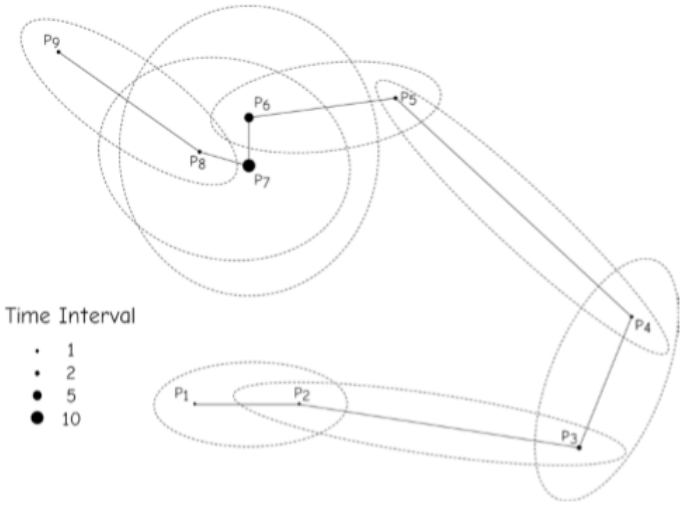
Sama seperti ketika menggunakan fungsi kepadatan kernel untuk memperkirakan area inti, perkiraan waktu geografis penggunaan ruang adalah gabungan dari banyak pengamatan. Di sini, setiap pasangan pengamatan dapat dianggap sebagai volume kepadatan, sebanding dengan probabilitas bahwa objek menempati lokasi selama interval waktu (Gambar 12-32). Fungsi kerapatan seragam adalah yang paling sederhana untuk dipahami, menyiratkan objek bergerak dengan kecepatan maksimum antara dua pengamatan yang mengendalikan, tetapi di sepanjang jalur yang tidak diketahui dalam elips. Fungsi kepadatan seragam harus memiliki volume yang sama dengan kemungkinan hunian, seperti dengan penduga kepadatan kernel standar. Untuk bentuk sederhana seperti distribusi probabilitas seragam tiga dimensi, volumenya sama dengan luas kali tinggi.

Gambar diatas menunjukkan dua titik, P1 diamati pada waktu t1, dan P2 diamati pada waktu t2. Tugas kita adalah menghitung luas volume eliptik yang mewakili probabilitas hunian, berdasarkan pengamatan kita. Dua jalur ditunjukkan antara titik-titik, satu jarak tempuh dm dan lainnya dn. Kedua jalur ini memiliki panjang yang sama, menurut definisi ellipsoid pembatas, dan mereka juga masing-masing sama dengan panjang sumbu panjang ellipsoid, 2a. Hubungan geometris antara jarak antar titik dan dimensi elips memungkinkan kita untuk menghitung a dan b, dua dimensi karakteristik, yang pada gilirannya memungkinkan kita untuk menghitung luas, ab. Ini kemudian dapat diskalakan berdasarkan ketinggian untuk menetapkan probabilitas pekerjaan (Gambar bagian bawah)

Proses ini diulang untuk pasangan titik yang tumpang tindih di seluruh set titik kontrol yang diamati. Dua titik berikutnya dalam urutan, P2 dan P3, dipasangkan, dan kepadatan elips dihitung, menjumlahkan kepadatan di mana geoelips tumpang tindih. Proses ini diulang untuk titik Pi, Pi+1 sampai titik terakhir tercapai. Gambar 12-33 mengilustrasikan kumpulan geoelips yang tumpang tindih dari kumpulan sampel.



Gambar 12.27: Proses menghitung kepadatan geoelips antara dua titik berurutan, yang mewakili kemungkinan pendudukan. Di sini probabilitas seragam diasumsikan di seluruh pengamatan.



Gambar12.28 : Contoh kumpulan geoelips yang tumpang tindih yang digunakan untuk membuat fungsi kepadatan komposit dari kumpulan data waktu-geografis. Urutan dimulai dengan P1 di kiri bawah, melalui P9 di kiri atas. Perhatikan bahwa ukuran simbol titik kontrol menunjukkan interval waktu sejak pengamatan titik kontrol terakhir (diadaptasi dari Downs et al., 2011).

Bentuk elips dapat bervariasi, tergantung pada interval waktu, jarak antar fitur, dan kecepatan maksimum. Interval waktu yang lebih lama antara pengamatan menghasilkan elips yang lebih besar, terlepas dari jarak antara titik-titik berikutnya. Ketika jarak antar titik mendekati set maksimum dengan kecepatan maksimum, v, elips menjadi lebih panjang dan lebih sempit, dan berkurang menjadi garis ketika titik-titik diberi jarak pada jarak maksimum yang mungkin. Sebaliknya, elips mendekati lingkaran ketika interval waktu antara titik panjang tetapi jarak yang diamati antara titik kecil. Ini terjadi ketika objek tidak banyak bergerak, relatif terhadap seberapa jauh objek tersebut mungkin telah bergerak dalam interval waktu antara pengamatan.

Fungsi densitas waktu-geografis komposit ditunjukkan dalam rumus dibawah ini di mana f(x) adalah densitas pada setiap titik di seluruh permukaan; n adalah jumlah titik kontrol yang diamati; ts dan te masing-masing adalah waktu mulai dan waktu berakhir; ti dan tj adalah pasangan titik berurutan; v adalah kecepatan maksimum dan D(P, Pi) adalah fungsi jarak, seperti yang dijelaskan dalam rumus diawah ini. Rumus ini digunakan untuk sekumpulan titik untuk memperkirakan kepadatan melintasi ruang. Pembilang menjumlahkan fungsi elips jarak tertimbang untuk setiap pasangan titik pengambilan sampel, dan penyebut menskalakannya dengan jarak maksimum yang mungkin telah ditempuh selama interval waktu tersebut.

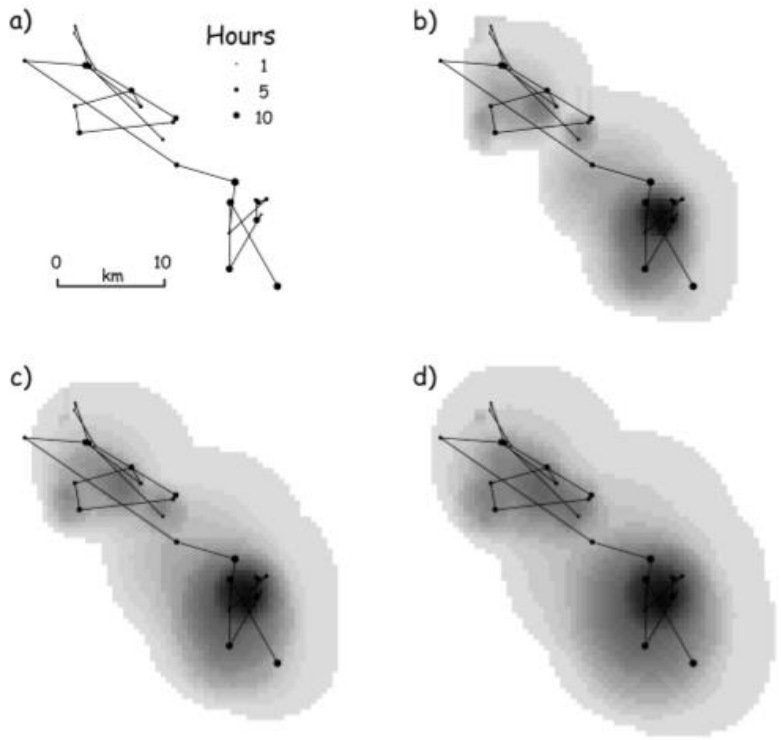
$$f(x) = \frac{1}{(n-1)[(t_e - t_s)\cdot v]^2} \sum_{i=1}^{n-1} H\left[\frac{D(P,P_i) + D(P,P_j)}{(t_i - t_j)\cdot v}\right]$$

Gabungan elips individu dapat menghasilkan volume kepadatan agregat yang kompleks. Kepadatan akan tertinggi di mana titik-titik berkerumun atau dekat di mana jalur sering berpotongan. Tepi yang tajam dan artefak pengambilan sampel dapat terjadi saat menggunakan fungsi kepadatan seragam, setidaknya sampai ukuran sampel menjadi besar.

Satu bentuk mengasumsikan kemungkinan pendudukan menurun secara linier dengan jarak dari garis yang menghubungkan dua titik kontrol berikutnya. Ini sering disebut fungsi peluruhan linier, karena kemungkinan pendudukan diasumsikan menurun secara linier dengan jarak. Penurunan yang lebih cepat atau kurang cepat dengan jarak dapat diwakili oleh fungsi lain.

Estimasi kerapatan waktu-geografis komposit pada Gambar diatas mengilustrasikan jalur ruang-waktu dan fungsi peluruhan linier yang diterapkan untuk memperkirakan estimasi jelajah untuk jalur tersebut. Panel a menunjukkan titik kontrol untuk suatu jalur, dengan waktu antara pengamatan berturut-turut ditunjukkan oleh ukuran titik. Panel b sampai d menunjukkan TGDE yang dihitung menggunakan kecepatan maksimum yang berbeda. Perhatikan bahwa kepadatan tertinggi (warna paling gelap) menunjukkan di mana titik kontrol dikelompokkan dan di mana jarak antara pengamatan relatif pendek terhadap periode waktu antara pengamatan, yang pada gilirannya tergantung pada kecepatan maksimum. Ini menyiratkan pergerakan objek bersih kecil di antara titik kontrol, meskipun ada area kemungkinan yang lebih padat di sana.

Sementara kecepatan maksimum dapat ditentukan dari pengamatan atau nilai teoretis, bentuk fungsi jarak. Fungsi seragam mungkin lebih dapat dipertahankan jika objek bergerak mendekati kecepatan maksimum untuk sebagian besar durasi. Namun, fungsi peluruhan linier mungkin lebih masuk akal ketika interval pengambilan sampel bervariasi dalam frekuensi, dan objek sering kali bergerak jauh lebih lambat daripada kecepatan maksimum. TGDE adalah bidang yang berkembang.



Gambar 12.29 : Contoh fungsi kepadatan waktu-geografis untuk serangkaian titik kontrol berurutan. Jalur (a) menunjukkan baik lintasan maupun interval antar pengamatan. Angka berturut-turut (b sampai d) menunjukkan nilai kecepatan maksimum yang berbeda, dengan kecepatan 2 (b), 2,5 (c), dan 3 (d) km/jam (milik J. Downs).

12.6 Kesimpulan

Interpolasi dan prediksi spasial memungkinkan kita untuk memperkirakan nilai di lokasi yang belum diukur. Metode ini biasanya digunakan karena anggaran kami terbatas, sampel mungkin hilang atau ditemukan kurang, atau karena waktu telah berlalu sejak pengumpulan data. Kami juga dapat melakukan interpolasi saat mengonversi antar model data, misalnya, saat menghitung kisi raster dari sekumpulan garis kontur, atau saat melakukan sampel ulang kisi raster ke resolusi yang lebih baik.

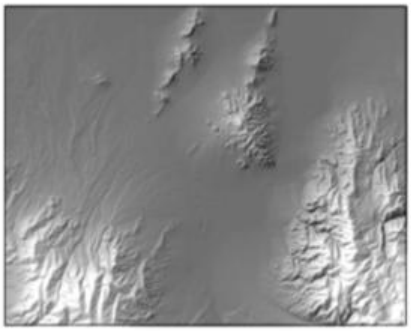
Prediksi spasial melibatkan pengumpulan sampel di lokasi yang diketahui dan menggunakan aturan dan rumus untuk menetapkan nilai di lokasi tanpa sampel. Ada banyak cara untuk mendistribusikan sampel, termasuk pemilihan lokasi sampel secara acak, pola sistematis, pengelompokan sampel, pengambilan sampel adaptif, atau kombinasi dari semuanya. Rezim pengambilan sampel harus mempertimbangkan biaya perjalanan dan pengumpulan sampel, serta sifat variabilitas spasial fitur target dan tujuan penggunaan permukaan yang diinterpolasi.

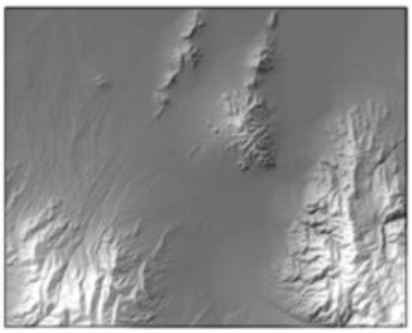
Nilai sampel digabungkan dengan lokasi sampel untuk memperkirakan atau memprediksi nilai di lokasi tanpa sampel. Ada banyak metode prediksi spasial tetapi yang paling umum adalah poligon Thiessen (tetangga terdekat), rata-rata lokal (radius tetap), pembobotan jarak terbalik, permukaan tren, dan interpolasi kriging. Masing-masing metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan relatif satu sama lain, dan tidak ada metode yang seragam terbaik. Setiap metode harus diuji untuk variabel-variabel yang diminati, di bawah kondisi di wilayah studi yang diminati. Tes terbaik melibatkan perbandingan perkiraan interpolator terhadap titik sampel yang ditahan.

Ukuran area inti umumnya diidentifikasi dari pengamatan yang terdistribusi secara spasial. Bentuk prediksi ini mengidentifikasi daerah probabilitas tinggi untuk suatu objek atau peristiwa. Pusat rata-rata atau lingkaran rata-rata adalah ukuran sederhana. Lambung cembung, didefinisikan sebagai poligon luas minimum yang mencakup semua titik dan dengan sudut luar cembung, umumnya diterapkan. Langkah-langkah yang lebih canggih termasuk pemetaan kernel, berdasarkan pemusatan skala fungsi distribusi atas setiap pengamatan, dan secara vertikal menjumlahkan fungsi distribusi.

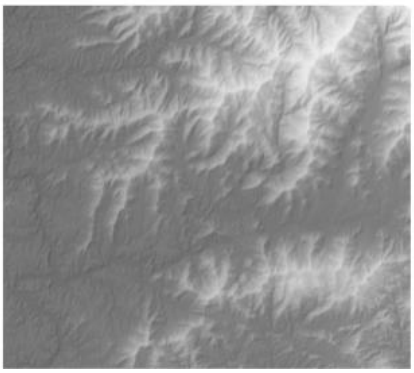
12.7 Soal dan Latihan

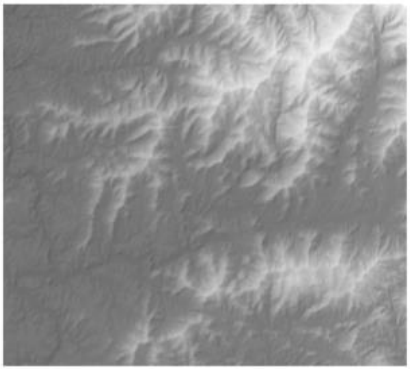
1. Mengapa melakukan interpolasi spasial?
2. Jelaskan empat pola pengambilan sampel yang berbeda, dan berikan keuntungan atau kerugian relatif masing-masing? Menurut Anda mana yang paling sering digunakan dalam praktik, dan mengapa?
3. Gambarlah pola sampling sistematik pada area di bawah, kiri, dan pola sampling adaptif pada area di bawah, kanan. Gunakan jumlah titik sampel yang sama, misalnya, kira-kira 50, pada keduanya. Menurut Anda mana yang akan memberikan perkiraan lokasi medan yang lebih baik di titik yang tidak diketahui? Mengapa? Apakah peningkatan jumlah sampel akan mengubah desain pengambilan sampel yang menurut Anda paling baik?



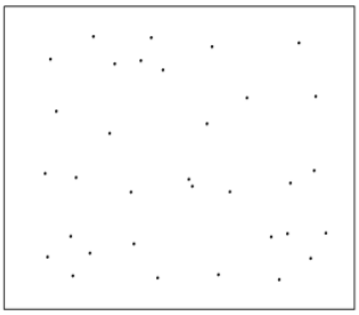


4. Gambarlah pola pengambilan sampel klaster pada area di bawah, kiri, dan pola pengambilan sampel adaptif pada area di bawah, kanan. Gunakan jumlah titik sampel yang sama, misalnya, kira-kira 50, pada keduanya. Menurut Anda mana yang akan memberikan perkiraan lokasi medan yang lebih baik di titik yang tidak diketahui? Mengapa? Apakah peningkatan jumlah sampel akan mengubah desain pengambilan sampel yang menurut Anda paling baik?

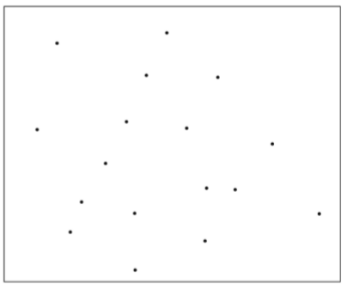




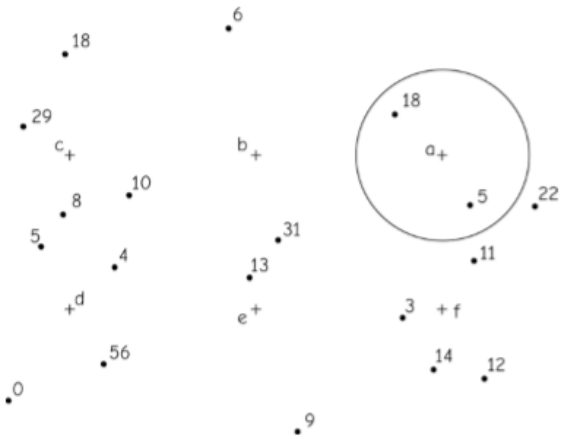
5. Gambarlah poligon Thiessen (interpolasi tetangga terdekat) untuk himpunan titik di bawah ini.



6. Gambarlah poligon Thiessen (interpolasi tetangga terdekat) untuk himpunan titik di bawah ini.

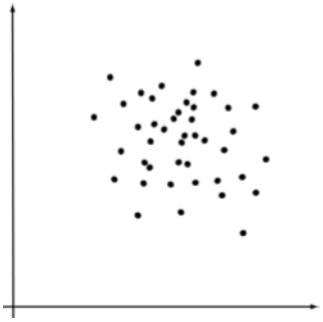


7. Hitung nilai sel yang ditunjukkan pada salib di bawah ini, menggunakan ukuran pengambilan sampel radius tetap dengan lingkaran yang ditunjukkan.



8. Hitung nilai sel yang ditunjukkan pada salib di bawah ini, menggunakan ukuran pengambilan sampel radius tetap dengan lingkaran yang ditunjukkan.

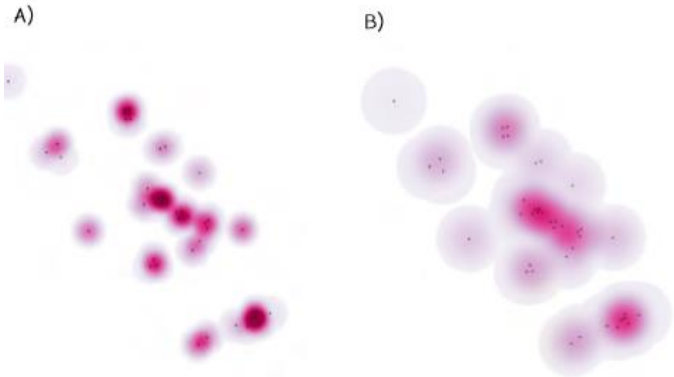
9. Apa perbedaan utama antara metode interpolasi spline dan interpolasi permukaan tren?
10. Apa perbedaan utama antara interpolasi permukaan tren dan interpolasi kriged?
11. Jelaskan variogram. Apa yang diwakilinya pada sumbu x dan y, dan apa daerah/titik penting dari plot?
12. Gambarkan pusat rata-rata perkiraan, lingkaran simpangan baku, dan lingkaran maksimum untuk data berikut:



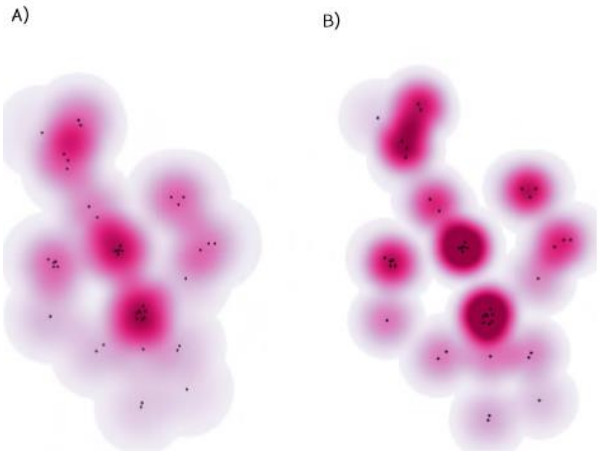
13. Apa itu lambung cembung? Bagaimana cara menghitung/menentukannya?
14. Gambarkan lambung cembung untuk titik-titik yang digambarkan di bawah ini:

15. Gambarkan lambung cembung untuk titik-titik yang digambarkan di bawah ini.

16. Menjelaskan/mendefinisikan peta kepadatan kernel. Sertakan bagaimana nilai didasarkan pada sampel.
17. Tuliskan dan jelaskan setidaknya satu fungsi atau rumus yang digunakan untuk menghasilkan permukaan kerapatan.
18. Gambar manakah di bawah ini yang menggambarkan bandwidth yang lebih lebar? Dengan asumsi data yang sama, berikan dua alasan untuk jawaban Anda, dengan asumsi skala warna memiliki batas atas dan bawah yang sama untuk kedua permukaan.



19. Gambar manakah di bawah ini yang menggambarkan bandwidth yang lebih besar? Dengan asumsi data yang sama, berikan dua alasan untuk jawaban Anda, dengan asumsi skala warna memiliki batas atas dan bawah yang sama untuk kedua permukaan.



12.8 DAFTAR PUSTAKA

Anderson, D.J. (1982). The home range: a new nonparamteric estimation technique. Ecology, 6:103–112.

Anselin, L. (1988). Spatial Econometrics: Methods and Models. Dordrecht: Kluwer Academic.

Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association - LISA. Geographical Analysis, 27:93–115.

Anselin, L. (2002). Under the hood: issues in the specification and interpretation of spatial regression models. Agricultural Economics, 17:247–267.

Anselin, L., Syabri, I., Kho Y. (2006). GeoDa: An introduction to spatial data analysis. Geographical Analysis, 38:5–22.

Angulo-Martínez, M., López-Vicente, M., Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. (2009). Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain). Hydrology and Earth Systems Science, 13:1910–1920.

Ayeni, O. O. (1982). Optimum sampling for digital terrain models. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48:1687–1694.

Besag, J. (1974). Spatial interaction and the statistical analysis of lattice systems. Journal of the Royal Statistical Society, 43B:192–225.

Besag, J., Kooperberg, C.L. (1995). On conditional and intrinsic autoregressions. Biometrika, 82:733–746.

Bowman, A.W., Azzalini, A. (1997). Applied Smoothing Techniques for Data Analysis: The Kernel Approach with S-Plus Illustrations. Oxford: Oxford University Press.

Brunsdon, C., Comber, L. (2015). An Introduction to R for Spatial Analysis and Mapping. New York: Sage Publications.

Burgess, T.M., Webster, R. (1984). Optimal sampling strategies for mapping soil types. I. Distribution of boundary spacing. Journal of Soil Science, 35:641–654.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A.(1998). Principles of Geographical Information Systems. New York: Oxford University Press.

Cressie, N. (1991). Statistics for Spatial Data. New York: Wiley. Dale, M.R.T., and Fortin, M.J. (2014). Spatial Analysis, a Guide for Ecologists. Cambridge: Cambridge University Press.

DeGruijter, J.J., Ter Braak, C.J.F. (1990). Model-free estimation from spatial samples: a reappraisal of classical sampling theory. Mathematical Geology, 22:407–415.

Downs, J.A. & Horner, M.W. (2009). A characteristic-hull based method for home range estimation. Transactions in GIS 13:527–537.

Downs, J.A, Horner, M.W., Tucker, A.D. (2011). Time-geographic density estimation for home-range analysis. Annals of GIS, 17:163–171.

Dubrule, O. (1994). Comparing splines and kriging. Computers and Geosciences, 10:327–338.

Fotheringham, A., Brunsdon, C., Charlton, M. (2000). Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis. London: Sage Publications.

Gelfand, A.E., Diggle, P.J., Fuentes, M., & Guttorp, P. (2010). Handbook of Spatial Statistics. Boca Raton: CRC Press.

Getis, A., Ord, J.K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics, Geographical Analysis, 24: 189–206.

Goovaerts, P. (1997). Geostatistics for Natural Resource Evaluation. New York: Oxford University Press.

Griffith, D.A., Layne, A. (1999). Casebook for Spatial Statistical Data Analysis. Oxford: Oxford University Press.

Hutchinson, M. F. (1995). Interpolating mean rainfall with thin plate smoothing splines. International Journal of Geographical Information Systems, 9:385–404.

Isaaks, E.H., Srivastava, R.M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. New York:Oxford University Press.

am, N.S. (1983). Spatial interpolation methods: a review. American Cartographer, 10:129–149.

Laurini, R., Thompson, D. (1992). Fundamentals of Spatial Information Systems. London: Academic Press.

Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: Trouble or new paradigm? Ecology, 74:1659–1673.

Mark, D.M. (1987). Recursive algorithm for determination of proximal (Thiessen) polygons in any metric space. Geographical Analysis, 19:264–272.

Mitasova, H., Hofierka, J. (1993). Interpolation by regularized spline with tension: application to terrain modeling and surface geometry analysis. Mathematical Geology, 25:657–669.

Mitchell, A. (1999). The ESRI Guide to GIS Analysis. Redlands: ESRI Press.

O'Sullivan, D., Unwin, D.J. (2010). Geographic Information Analysis, 2nd Edition. New York: John Wiley and Sons.

Silverman, B.W. (1986). Density Estimation. London: Chapman and Hall.

Varekamp, C., Skidmore, A.K., Burrough, P.A. (1996). Using public domain geostatistical and GIS software for spatial interpolation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62:845–854.

Willmott, C.J. (1981). On the validation of models. Physical Geography, 2:184–191.

Willmott, C.J., Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. Climate Research, 30:79–82.

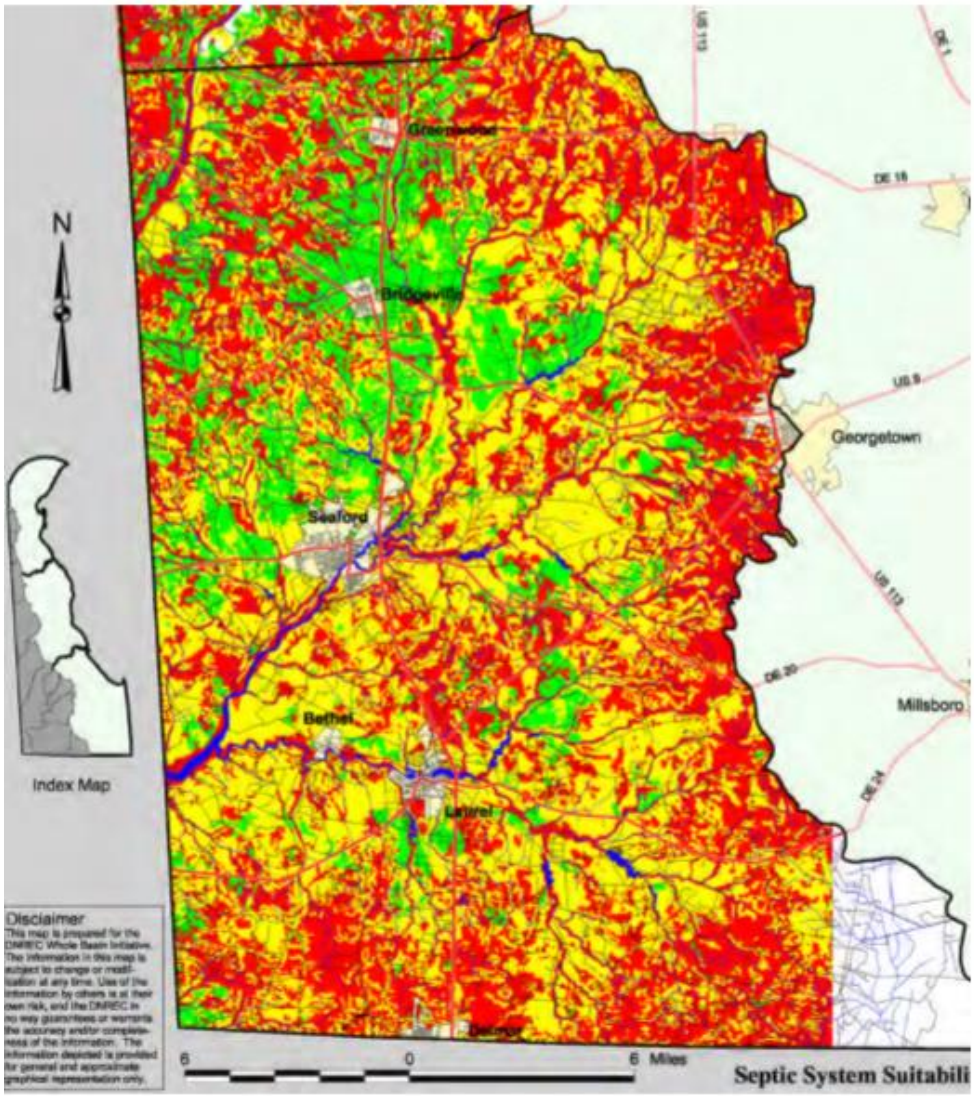
Worton, B.J. (1987). A review of models of home range for animal movement. Ecological Modelling, 38:277–298.

BAB 13
MODEL SPASIAL DAN PERMODELAN

13.1 Pendahuluan

Sebuah model adalah deskripsi dari realitas. Di sini, minat kami terbatas pada model fenomena spasial berbasis komputer. Model-model ini menggambarkan sifat dasar atau proses untuk satu set fitur spasial, dan membantu kita memahami bentuk dan perilakunya.

Banyak model berbasis komputer menggunakan data spasial, dan dikembangkan dan dijalankan menggunakan beberapa kombinasi GIS, bahasa pemrograman komputer umum dan khusus, dan alat analisis spasial dan nonspasial. Model spasial eksplisit adalah manfaat utama dari teknologi GIS, dan banyak model spasial didasarkan pada data dalam GIS. Model-model ini dapat dijalankan dalam GIS, atau data spasial dapat disiapkan dalam GIS, dan diekspor ke model yang dikembangkan dan dijalankan di luar GIS.



Gambar 13.1 : Contoh peta kesesuaian, yang dihasilkan dengan menggabungkan data tanah, elevasi, lahan basah, dan aliran air. Analisis ini sering otomatis melalui model kartografi untuk

menghasilkan kesesuaian atau peringkat nominal atau ordinal lainnya di area yang luas (milik negara bagian Delaware).

Meskipun mungkin ada banyak kelas model karena ada pemodel, di sini kami membagi model spasial menjadi tiga kelas yang luas dan tumpang tindih: model kartografi, model spasial sederhana, dan model spatio-temporal. Joseph Berry, seorang pengembang awal dan terkenal dan pendukung pemodelan spasial, menggambarkan model kartografi sebagai mengotomatisasi analisis dan pemrosesan peta manual, sementara model spasial berfokus pada penerapan hubungan matematis. Model kartografi paling sering diterapkan untuk menentukan peringkat area dalam mendukung pengambilan keputusan, sementara model spasial sederhana sering menerapkan serangkaian rumus untuk memprediksi variabel kontinu tertentu di seluruh ruang. Output model kartografi seringkali nominalatau ordinal (kesesuaian rendah, sedang, atau tinggi), sedangkan output dari model spasial sederhana sering interval/rasio (misalnya, kepadatan penduduk, frekuensi kecelakaan, atau tingkat erosi tanah).

Model kartografi memecahkan masalah melalui kombinasi layer spasial dalam overlay, buffer, reklasifikasi, dan operasi spasial lainnya. Model-model ini sering menggunakan konsep Algebra, tetapi mungkin mencakup rentang operasi yang jauh lebih luas. Analisis kesesuaian, yang didefinisikan di sini sebagai klasifikasi tanah menurut kegunaannya untuk penggunaan khusus, adalah salah satu model kartografi yang paling umum.

Sebagian besar model kartografi bersifat statis sementara karena mewakili fitur spasial pada titik waktu tertentu. Data di layer dasar dipetakan untuk periode tertentu. Data ini adalah dasar untuk operasi spasial yang dapat membuat layer data baru. Misalnya, kita mungkin tertarik untuk mengidentifikasi tanah yang saat ini paling berharga untuk pertanian. Biaya produksi mungkin tergantung pada kemiringan (lebih curam lebih mahal), jenis tanah (beberapa tanah membutuhkan lebih banyak pupuk), tutupan lahan saat ini (bangun tidak sesuai, hutan lebih mahal untuk dibuka), atau jarak ke jalan atau pasar. Produksi pertanian mungkin juga bergantung pada jenis tanah, topografi (tidak tergenang maupun rawan kekeringan), dan kemampuan mengairi. Data spasial tentang elevasi, sifat tanah, penggunaan lahan saat ini, jalan, lokasi pasar, dan potensi irigasi dapat digabungkan untuk menentukan peringkat lokasi berdasarkan nilai produksi. Kami dapat menggunakan hubungan matematis untuk perhitungan khusus biaya dan pendapatan rata-rata, misalnya, ahli agronomi mungkin telah mengembangkan hubungan antara jenis tanah dan produksi jagung rata-rata di wilayah tersebut, dan kami dapat menggunakan biaya per mil untuk transportasi berdasarkan lokal tarif. Data spasial ini digabungkan dalam model kartografi untuk menetapkan nilai tanah untuk setiap bidang di wilayah studi. Model ini statis sementara di mana nilai variabel spasial, seperti kesuburan tanah atau jarak ke jalan, tidak berubah selama analisis.

Model kartografi umumnya tidak dinamis secara temporal, meskipun dapat digunakan untuk menganalisis perubahan. Misalnya, kita mungkin ingin menganalisis perubahan vegetasi selama periode 10 tahun, sebagian besar didasarkan pada peta vegetasi yang dibuat pada awal dan akhir periode. Setiap layer data mewakili batas vegetasi pada titik waktu tertentu. Modelnya statis karena batas poligon untuk layer tertentu tidak berubah. Mungkin ada dua layer data vegetasi, masing-masing sesuai dengan titik waktu yang berbeda, dan batas-batas vegetasi dipetakan seperti yang ditemukan pada setiap interval waktu. Model kartografi kami mencakup komponen temporal yang membandingkan perubahan vegetasi sepanjang waktu, tetapi model kartografi tidak menghasilkan batas poligon baru atau karakteristik fitur spasial

lainnya. Batas mungkin merupakan gabungan dari garis-garis yang ada di layer data input, tetapi garis baru di lokasi koordinat baru tidak dihasilkan. Sebagian besar pemodelan atau model spasial yang dilakukan dalam kerangka GIS adalah model kartografi yang statis secara temporal dengan cara ini.

Model spasial sederhana biasanya menerapkan satu set rumus untuk variabel yang diselesaikan secara spasial. Mereka sering bersandar pada rumus yang dikembangkan dari data pada satu set pengamatan pada titik atau sub area, dan kemudian diterapkan di area geografis yang lebih luas.

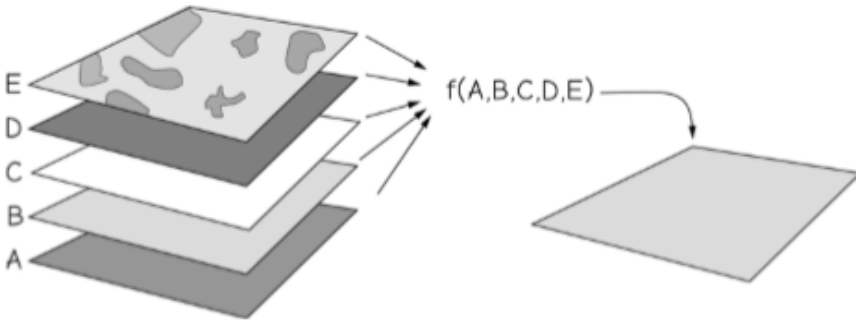
Sebuah contoh dapat membantu memahami model spasial sederhana. William Cooke dan rekan melaporkan model infeksi virus West Nile di antara burung, dan risiko penularan ke manusia. Virus West Nile adalah penyakit yang terkadang fatal, dan prevalensinya bervariasi melalui ruang dan waktu. Cooke dan rekan-rekannya mengumpulkan data tentang frekuensi infeksi burung dan manusia dalam setiap kode pos di Mississippi selama beberapa tahun. Kasus manusia dan burung dikelompokkan, dengan wabah terkonsentrasi di daerah pedesaan. Kepadatan jalan digunakan sebagai pengganti penggunaan lahan pedesaan/perkotaan.

Variabel spasial yang terkait dengan kualitas habitat nyamuk dikompilasi di seluruh negara bagian, termasuk kerapatan aliran, jenis vegetasi, suhu, dan surplus curah hujan. Ini digabungkan dengan frekuensi infeksi virus di lokasi tertentu agar sesuai dengan model statistik prediktif. Variabel spasial yang dipetakan kemudian diterapkan dalam model untuk memprediksi risiko wabah di seluruh negara bagian.

Model spasial sederhana adalah umum, dengan ratusan contoh ditemukan di berbagai disiplin ilmu. Mereka biasanya mencakup model yang diturunkan melalui pengambilan sampel dan proses pemasangan statistik, model yang kemudian diterapkan di seluruh ruang untuk memperkirakan peristiwa penting, kepadatan, atau karakteristik lainnya.

Model spatio-temporal bersifat dinamis baik dalam ruang maupun waktu. Mereka berbeda dari model spasial kartografi atau prediktif dalam waktu yang berlalu secara eksplisit dalam menjalankan model, dan perubahan dalam proses yang didorong waktu dalam model menyebabkan perubahan variabel spasial. Model spatio-temporal sering mencoba untuk secara eksplisit mewakili proses dalam model.

Dispersi minyak setelah tumpahan adalah contoh proses yang dapat dianalisis melalui model spatio-temporal. Arus, angin, gelombang, dan fisika pemisahan minyak dan penguapan pada paparan udara dapat digabungkan dalam model untuk memprediksi perubahan lokasi dari layer minyak. Tindakan objek saat mereka bergerak melintasi lingkungan juga dapat direpresentasikan dalam model spatio-temporal.



Gambar 13.2 : Contoh model spasial sederhana, di mana fungsi diterapkan pada input spasial untuk memperkirakan output spasial yang penting.

Model spatio-temporal mencakup proses yang digerakkan oleh waktu dalam kerangka model. Proses ini biasanya cukup rinci dan termasuk kode komputer yang substansial untuk mewakili subproses penting. Contoh penguapan minyak kami menunjukkan subproses yang diwakili dalam model spasial dinamis. Tingkat penguapan minyak tergantung pada banyak faktor, termasuk viskositas minyak, fraksi minyak komponen, kecepatan angin, suhu, tinggi gelombang dan aksi, dan intensitas sinar matahari. Proses-proses ini dapat dimodelkan dengan fungsi-fungsi yang sesuai yang diterapkan pada tambalan minyak yang ditentukan secara spasial. Submodel dapat memperkirakan penguapan berbagai komponen minyak di patch, dan memperbarui karakteristik minyak di patch itu. Kimia minyak dan viskositas dapat berubah karena penguapan lebih cepat dari komponen yang lebih ringan, yang pada gilirannya mempengaruhi perhitungan penguapan di masa depan. Fitur spasial dapat berubah seiring waktu karena proses dinamis yang diwakili; misalnya, batas yang menentukan tumpahan minyak dapat bervariasi seiring berjalannya model.

Model spatio-temporal biasanya lebih terbatas daripada pendekatan pemodelan lainnya dalam rentang dan jumlah tema spasial yang dianalisis, tetapi mereka memberikan representasi proses dinamis yang lebih mekanistik. Upaya substansial dilakukan untuk mengembangkan submodel proses penting. Komponen dan struktur model berfokus pada satu atau beberapa variabel spasial output utama, dan tema data masukan dimasukkan hanya jika dibutuhkan oleh model subproses ini. Model dinamis temporal ini secara eksplisit menghitung perubahan variabel spasial output melalui waktu. Batasan fitur, lokasi fitur titik, dan variabel atribut yang mencerminkan karakteristik spasial dan aspasial dari variabel output utama dapat berubah dalam model yang dijalankan, biasanya beberapa kali, dan dengan frekuensi temporal yang eksplisit.

Model spasial sederhana dan analisis statistik spasial sering digunakan sebagai pendahulu model spatio-temporal. Dengan mengungkap proses atau tingkat kunci, mereka dapat memandu analisis lebih lanjut. Misalnya, dalam contoh tumpahan minyak kami, hubungan spesifik antara tinggi gelombang atau frekuensi dan pemisahan minyak dapat diwakili oleh rumus, tetapi parameter spesifik yang menentukan bentuk hubungan dapat diperkirakan melalui proses statistik. Eksperimen atau pengamatan pada tingkat pemisahan pada berbagai ketinggian gelombang dapat dikumpulkan, dan parameter model spesifik diperkirakan. Ini kemudian dapat dimasukkan sebagai komponen model spatio-temporal yang lebih besar.

13.1.1 Produk GIS: Gambaran Umum Map dan Informasi Lainnya

Anda dapat menyelidiki hubungan antara GIS dan pembuatan map, melihat berbagai jenis keluaran dari GIS, dan mempelajari dasar-dasar pembuatan peta dengan ArcGIS.

GIS adalah hal terburuk yang pernah terjadi pada kartografi. (Tidak Dapat Diatribusikan tahun 1990an)

GIS dan kartografi tradisional memiliki kesamaan ide dasar: Menggambarkan bagian dari dunia nyata sehingga manusia dapat memahaminya dan menggunakan pengetahuan tersebut untuk navigasi, perencanaan, pengelolaan sumber daya, atau untuk pengambilan keputusan lainnya. Produk kartografi tradisional, map, adalah satu kesatuan yang biasanya merupakan

hasil dari proyek besar. Misalnya, peta topografi USGS mungkin membutuhkan waktu beberapa tahun untuk dibuat. Penentuan font dan penempatan informasi tekstual, warna yang digunakan, dan sebagainya dipertimbangkan dengan cermat. Hal ini memiliki ukuran dan skala tetap. Bagi banyak orang, membuat peta adalah karya seni.

13.1.2 GIS dan Kartografi— Kompatibilitas?

Sebelumnya, kita telah membahas perbedaan antara map dan GIS. Di sini saya ingin mengilustrasikan perbedaan dramatis yang jarang dikenali antara map yang diterbitkan dan map yang dikembangkan oleh GIS. Ternyata, tidak peduli seberapa bagus perangkat GIS dalam memfasilitasi produksi map kertas, ada ketidakcocokan mendasar antara data GIS dan bahkan map kertas berskala besar. Selain kelebihan yang telah dibahas sebelumnya dari GIS dibandingkan map adalah kenyataan bahwa kartografer terkadang harus mengubah posisi fitur agar map dapat menyampaikan informasi penting. Misalnya, di daerah pegunungan terdapat lembah yang berpenduduk. Berjalan melalui lembah ini mungkin memiliki beberapa fitur linier: sungai, jalan, saluran listrik, saluran gas, dan rel kereta api. Elemen-elemen ini mungkin harus ada di dalam koridor yang lebarnya hanya beberapa ratus kaki. Lebih jauh, jalan tersebut mungkin melintasi sungai dan rel kereta api. Jarak 250 kaki diterjemahkan menjadi hanya seperdelapan inci pada satu "map skala 2000", di mana 1 inci sama dengan 2.000 kaki.

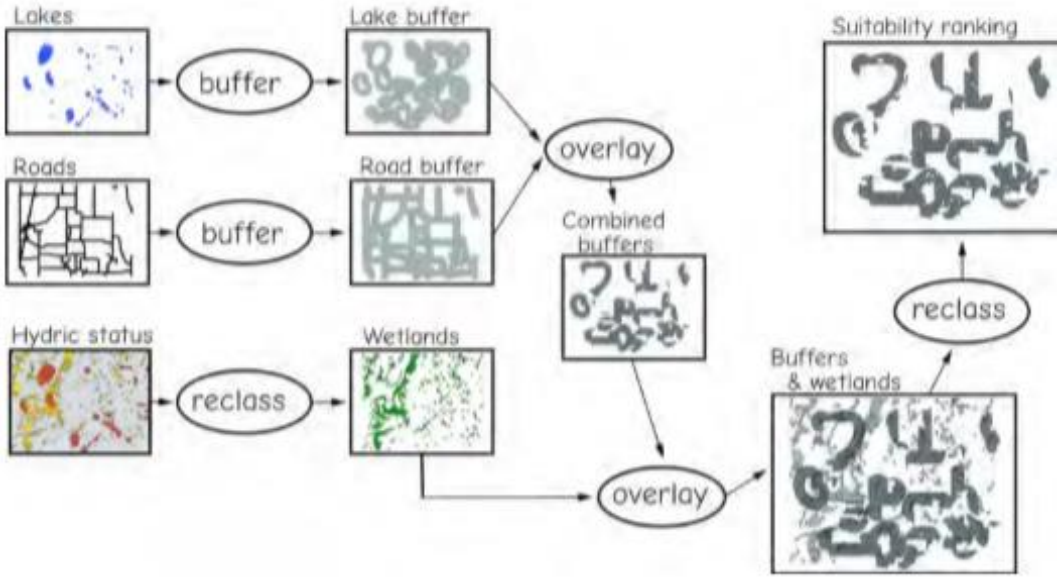
Seperdelapan inci tentu tidak menyediakan cukup ruang untuk menampilkan fitur-fitur ini dan hubungan di antara mereka. Jika simbol untuk fitur ini ditampilkan di lokasi spasial yang benar, mereka akan muncul di atas satu sama lain. Apa yang harus dilakukan kartografer? Berbuat curang! Memperluas lembah dan membesar-besarkan jarak antara fitur-fitur tersebut, yang berarti meletakkan beberapa di antaranya di tempat yang sebenarnya tidak ada. Generalisasi adalah istilah yang digunakan untuk ini. Kartografer dengan tepat menganggap lebih penting untuk menunjukkan hubungan yang benar di antara fitur-fitur daripada harus akurat secara spasial.

Seseorang dapat dengan tepat berpendapat bahwa penyesuaian seperti itu seharusnya tidak menjadi bagian dari database GIS. Penggunaan data GIS yang berbeda, pada skala yang berbeda, menunjukkan bahwa segala sesuatu yang ditempatkan dalam database harus dicatat seakurat mungkin. Ini berarti bahwa jika map dibuat atau data ditampilkan pada skala 1: 24.000 dari database semacam itu, Anda tidak akan dapat membedakan fitur-fiturnya. Untuk melihat fitur dalam hubungan yang tepat, Anda perlu memperbesar skala.

Ketidakcocokan antara map kertas dan GIS dapat diperburuk karena semakin banyak detail yang dimasukkan ke dalam database GIS. Ketidakcocokan, bersama dengan kurangnya alat GIS untuk pembuatan peta yang baik (masalah yang sebenarnya cepat menghilang), adalah alasan mengapa banyak kartografer mengubah map GIS menjadi program gambar seperti Freehand dan Illustrator. Bagaimanapun, map virtual atau map berbasis web, tidak akan menyingkirkan map kertas ke zaman kuno, tetapi trennya akan mengarah ke sana. Bagaimanapun, yang biasanya diinginkan adalah memiliki data spasial dan alat analisis yang akan menghasilkan produk bagi pengambil keputusan.

13.2 Pemodelan Kartografi

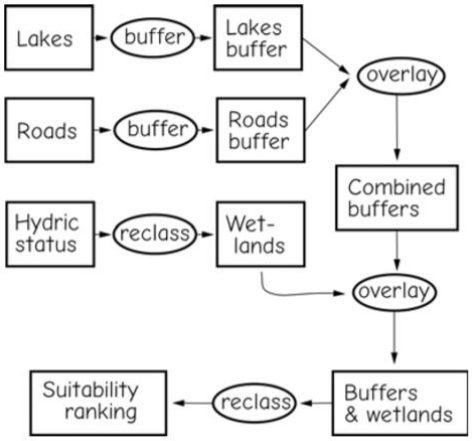
Sebuah model kartografi menyediakan informasi melalui kombinasi set data spasial, fungsi, dan operasi. Fungsi dan operasi ini sering mencakup klasifikasi ulang, overlay, interpolasi, analisis medan, buffering, dan fungsi lainnya. Beberapa layer data digabungkan melalui operasi ini, dan informasinya biasanya dalam bentuk layer data spasial. Algebra sering digunakan untuk menentukan model kartografi untuk kumpulan data raster.



Gambar 13.3 : Contoh model kartografi. Model tersebut mengidentifikasi lokasi taman yang sesuai berdasarkan kedekatannya dengan jalan dan danau, dan tidak adanya lahan basah.

Analisis kesesuaian mungkin merupakan contoh paling umum dari model kartografi. Analisis ini mengurutkan tanah menurut kegunaannya untuk berbagai tujuan. Analisis kesesuaian sering kali melibatkan overlay, pembobotan, dan penilaian beberapa layer data untuk mengkategorikan lahan ke dalam berbagai kelas. Layer data yang relevan digabungkan dan poligon yang dihasilkan diklasifikasikan berdasarkan kombinasi atribut. Gambar 13-3 mengilustrasikan model kartografi sederhana untuk identifikasi lokasi taman potensial. Lokasi yang cocok adalah yang berada di dekat danau, di dekat jalan raya, dan bukan di lahan basah. Model menggunakan tiga layer data input, yang berisi danau, jalan, dan status hydric untuk area studi umum. Operasi spasial diterapkan pada layer data spasial, termasuk reklasifikasi, buffering, dan overlay. Ini menghasilkan layer kesesuaian. Layer kesesuaian ini kemudian dapat digunakan untuk mempersempit lokasi untuk evaluasi lebih lanjut, mengidentifikasi pemilik, atau membantu dalam pemilihan lokasi taman.

Model kartografi telah digunakan untuk berbagai aplikasi. Ini termasuk perencanaan penggunaan lahan, studi rute dan koridor transportasi, desain dan pengembangan sistem distribusi air, pemodelan penyebaran penyakit manusia atau spesies tumbuhan dan hewan yang diperkenalkan, pemilihan bangunan dan lokasi bisnis, perencanaan respons polusi, dan pelestarian spesies yang terancam punah. Model kartografi sangat luas digunakan karena memberikan informasi yang berguna bagi manajer, publik, dan pembuat kebijakan, dan membantu memandu keputusan yang memerlukan pertimbangan lokasi spasial di berbagai tema.



Gambar 13.4 : flowchart yang menggambarkan model kartografi pada Gambar 13-3. Flowchart adalah metode singkatan yang diproduksi dengan cepat untuk mewakili urutan operasi spasial.

Model kartografi sering secara ringkas diwakili oleh diagram alur. Flowchart adalah representasi grafis dari data spasial, operasi, dan urutan penggunaannya dalam model kartografi. Gambar 13-4 mengilustrasikan diagram alir model kartografi yang diilustrasikan pada Gambar 13-3. Lokasi yang cocok perlu diidentifikasi yang dekat jalan raya, dekat danau, dan bukan lahan basah. Layer data diwakili oleh persegi panjang, operasi dengan elips, dan urutan operasi dengan panah. Operasi dilambangkan di dalam setiap elips.

Flowchart sering kali dibutuhkan oleh suatu badan atau organisasi untuk mendokumentasikan analisis spasial yang lengkap. Karena seperangkat simbol yang konsisten membantu dalam komunikasi efektif model kartografi, seperangkat simbol standar dan metode diagram alur dapat membantu dalam memahami data dan operasi yang digunakan dalam analisis. Flowchart berguna selama pengembangan dan penerapan model kartografi. Flowchart membantu dalam konseptualisasi dan perbandingan berbagai pendekatan yang bersaing dan dapat membantu dalam pemilihan model akhir. Sketsa bagan alir seringkali merupakan kerangka kerja yang berguna dan efisien untuk mendokumentasikan penerapan model kartografi. Lokasi file, tanggal kerja, dan pengamatan antara dapat dicatat dengan mengacu pada diagram alur, atau langsung ke salinan diagram alur.

Pemodelan kartografi sering menghasilkan sejumlah besar layer data "perantara" atau sementara yang tidak diperlukan dalam hasil akhir atau pengambilan keputusan. Contoh kita pada Gambar 13-4 mengilustrasikan hal ini. Informasi yang dibutuhkan terkandung seluruhnya dalam layer data peringkat kesesuaian. Layer ini merangkum peringkat tanah berdasarkan kriteria yang disediakan. Lima layer data lainnya diproduksi dalam model kartografi yang diilustrasikan. Layer buffer, recoded, dan overlay adalah langkah perantara yang diperlukan, tetapi dalam analisis ini kegunaannya bersifat sementara. Setelah layer dimasukkan dalam operasi berikutnya, mereka tidak lagi diperlukan. Proliferasi layer data ini umum dalam pemodelan kartografi, dan dapat menyebabkan masalah karena layer baru dan file lain menumpuk di ruang kerja komputer. Penghapusan file yang tidak diperlukan sering kali membantu.

Sebagian besar kekuatan pemodelan kartografi berasal dari fleksibilitas fungsi analisis spasial. Fungsi dan operasi spasial adalah seperangkat alat yang dapat dicampur dan dicocokkan dalam model kartografi. Overlay, proximity, reklasifikasi, dan sebagian besar alat analisis

spasial lainnya cukup umum. Alat-alat ini dapat digabungkan dalam sejumlah besar cara, dengan memilih alat yang berbeda dan dengan mengubah urutan aplikasinya. Misalnya, perbedaan jarak, ambang batas, dan tabel klasifikasi ulang dapat ditentukan. Variasi ini akan menghasilkan layer data output yang berbeda, bahkan ketika menggunakan layer data masukan yang sama. Dengan seperangkat kecil alat dan layer data, kita dapat membuat sejumlah besar model kartografi. Merancang model kartografi terbaik untuk memecahkan masalah—pemilihan alat spasial yang sesuai dan spesifikasi urutannya—mungkin merupakan proses yang paling penting dan seringkali paling sulit dalam pemodelan kartografi.

13.2.1 Merancang Model Kartografi

Kebanyakan model kartografi didasarkan pada seperangkat kriteria. Sayangnya, kriteria ini sering kali awalnya ditentukan dalam istilah kualitatif, seperti "lereng tidak boleh curam." Sejumlah besar interpretasi mungkin diperlukan dalam menerjemahkan kriteria dalam analisis kesesuaian ke dalam urutan tertentu dari operasi spasial. Dalam contoh kita sekarang, kita harus mengukur apa yang dimaksud dengan "terlalu curam". Kriteria umum atau kualitatif dapat diberikan dan ini harus diubah menjadi ukuran kuantitatif yang spesifik. Konversi dari spesifikasi kualitatif ke kuantitatif seringkali merupakan proses berulang, dengan interaksi berulang antara analis yang mengembangkan dan menerapkan model kartografi dan manajer atau pembuat keputusan yang akan bertindak berdasarkan informasi yang dihasilkan.

Kami akan menggunakan latihan pemilihan lokasi rumah untuk mendemonstrasikan proses ini. Masalahnya terdiri dari peringkat situs dengan kesesuaian untuk konstruksi rumah. Daerah yang akan dianalisis memiliki medan yang curam dan berada dalam iklim musiman yang dingin. Ada empat kriteria:

a) Lereng tidak boleh terlalu curam. Lereng yang curam dapat secara substansial meningkatkan biaya atau mungkin menghalangi konstruksi.
b) Aspek selatan lebih disukai, untuk meningkatkan pemanasan matahari
c) Diperlukan tanah yang cocok untuk sistem septik di lokasi. Ada berbagai jenis tanah di daerah studi, dengan berbagai kesesuaian untuk instalasi sistem septik.
d) Situs harus cukup jauh dari jalan utama untuk memberikan privasi, tetapi tidak terlalu jauh untuk diisolasi.

Kriteria ini harus diubah menjadi batasan yang lebih spesifik sebelum pengembangan dan penerapan dalam model kartografi. Pembuat keputusan harus menentukan klasifikasi seperti apa yang diperlukan. Apakah diperlukan klasifikasi biner sederhana, dengan kelas yang sesuai dan tidak sesuai, atau diperlukan rentang kelas yang lebih luas? Jika rentang kelas ditentukan, apakah peringkat ordinal dapat diterima, atau apakah skala interval/rasio lebih disukai? Pertanyaan-pertanyaan ini biasanya

dijawab melalui diskusi antara analis dan pengambil keputusan. Setiap kriteria kemudian dapat didefinisikan setelah jenis dan skala pengukuran hasil ditentukan. Mungkin cukup sederhana untuk menetapkan batas kemiringan lokal yang melarang konstruksi. Misalnya, percakapan dengan ahli bangunan lokal dapat mengidentifikasi 30 derajat sebagai ambang batas di mana konstruksi tidak dapat dilakukan. Pekerjaan lebih lanjut diperlukan untuk mengukur bagaimana kemiringan mempengaruhi biaya konstruksi. Penyempurnaan serupa harus dilakukan untuk setiap kriteria. Kita harus menghitung jangkauan dan preferensi relatif

untuk aspek selatan, kesesuaian tanah relatif, apa yang menentukan jalan utama, dan apa yang merupakan jarak pendek dan jauh.

Pertimbangan kunci kedua melibatkan ketersediaan dan kualitas data. Apakah layer data yang diperlukan ada untuk area studi? Apakah akurasi spasial, resolusi spasial, dan atribut sesuai untuk analisis yang dimaksud? Bagaimana generalisasi peta akan mempengaruhi analisis; misalnya, apakah penyertaan berbagai jenis tanah dalam poligon tanah akan menghasilkan hasil yang tidak sesuai? Apakah unit pemetaan minimum sesuai? Jika tidak, maka data yang diperlukan harus diperoleh atau dikembangkan, atau tujuan dan model kartografi dimodifikasi.

13.2.2 Pembobotan dan Peringkat

Sementara beberapa model kartografi sederhana dan terbatas, lebih banyak model kartografi memerlukan kombinasi kriteria yang bervariasi di berbagai nilai, dan memerlukan peringkat eksplisit dari kepentingan relatif kelas atau jenis kriteria yang berbeda. Contoh sederhana dan restriktif mungkin mengharuskan kita untuk mengidentifikasi paket yang lebih besar dari ukuran tertentu dan dalam jarak tertentu dari air. Kami dapat dengan jelas mengidentifikasi area yang memenuhi kondisi yang diinginkan ini.

Kelas masalah yang jauh lebih umum mengharuskan kita untuk mengintegrasikan beberapa kriteria yang secara kualitatif berbeda. Misalnya, kesesuaian lokasi untuk penyimpanan limbah berbahaya tergantung pada sejumlah faktor, termasuk jarak ke pusat populasi, transportasi, geologi, dan kedalaman dan jenis akuifer. Kita harus menilai situs di berbagai nilai untuk semua variabel ini. Setelah kriteria didefinisikan secara tepat, kita harus memperoleh data yang sesuai, mengembangkan diagram alur atau rencana untuk analisis kita, dan mengatasi masalah yang lebih sulit dalam menetapkan peringkat dalam setiap kriteria, dan menetapkan bobot relatif di antara kriteria. Perhatikan bahwa dalam diskusi berikut kita menggunakan kata “peringkat” ketika menjelaskan penetapan nilai relatif dalam layer yang sama, seperti bagaimana kita menentukan peringkat tanah berpasir vs. tanah berlumpur di layer tanah. Kami menggunakan kata "bobot" saat menetapkan nilai relatif dari layer yang berbeda, misalnya, bagaimana kami menimbang nilai di layer elevasi vs. nilai di layer penggunaan lahan.

13.2.3 Peringkat Dalam Kriteria

Setiap kriteria dalam model kartografi kami biasanya dinyatakan oleh layer data, atau "layer kriteria". Setiap layer kriteria adalah representasi spasial dari beberapa kendala atau kondisi seleksi; misalnya, kriteria yang kita buat di luar dataran banjir dapat terdiri dari serangkaian angka dalam layer yang mengidentifikasi lokasi dataran banjir. Situs dataran banjir dapat diberi nilai 0, dan situs dataran tinggi diberi nilai 1.

Sebelum kita dapat memberikan nilai ke situs manapun, kita harus terlebih dahulu mendapatkan peta dataran banjir dan menginterpretasikan kode di peta untuk menggambarkan daerah yang paling rawan banjir. Peta dataran banjir mungkin ada, atau kita mungkin harus membuatnya dari sumber lain. Hal ini memungkinkan kita untuk membuat peringkat wilayah berdasarkan kemungkinan banjir.

Kita harus secara eksplisit memformalkan peringkat kita untuk setiap layer yang digunakan untuk mewakili suatu kriteria. Salah satu keputusan awal adalah apakah peringkat harus diskrit atau kontinu. Pemeringkatan bersifat diskrit ketika data masukan diinterpretasikan

sedemikian rupa sehingga layer data kriteria adalah peta nilai diskrit. Tanah baik atau buruk untuk konstruksi, lereng terlalu curam atau dapat diterima, dan peta akhir mendefinisikan dua atau beberapa kelas terpisah; misalnya, situs dikategorikan sebagai cocok atau tidak cocok. Peringkat terus menerus ketika mereka bervariasi sepanjang skala; misalnya, tanah dapat dinilai dari 1 hingga 100 untuk kesesuaian konstruksi.

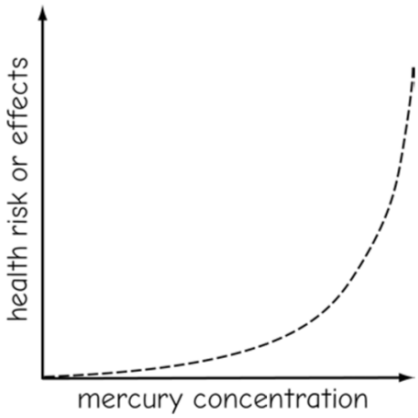
Gambar 13-5, kanan atas, menunjukkan penetapan peringkat diskrit produktivitas lahan berdasarkan nilai pada layer tanah. Layer sumber di kiri atas gambar dianalisis. Jika produksi yang diharapkan untuk poligon tanah yang diberikan kurang dari 66, maka peringkat output diatur ke 0. Jika produksi lebih besar atau sama dengan 66, maka peringkat output diatur ke 1. Rentang nilai masukan telah ditempatkan ke dalam dua kelas diskrit, diilustrasikan sebagai layer peringkat diskrit di bagian kanan atas Gambar 13-5.

Pemeringkatan diskrit paling sering digunakan ketika ada kelas diskrit yang jelas untuk diwakili dalam kriteria. Suatu penyakit mungkin ada atau tidak ada, suatu negara sekutu atau musuh, atau blok yang diinventarisasi atau tidak. Nilai-nilai yang akan diwakili adalah kategori diskrit.

Sebaliknya, kita dapat menerapkan kriteria sebagai peringkat berkelanjutan dalam model kartografi. Pemeringkatan berkelanjutan ini memberikan rentang nilai untuk mengkarakterisasi kesesuaian atau batasan, dan menghasilkan serangkaian peringkat yang bervariasi secara bertahap. Peringkat (atau skor) biasanya berkisar pada interval bilangan bulat nyata atau besar, misalnya, dari 0 hingga 1 atau 0 hingga 1000. Kesesuaian tertinggi biasanya diberikan pada peringkat tertinggi, dan terendah hingga terbawah.

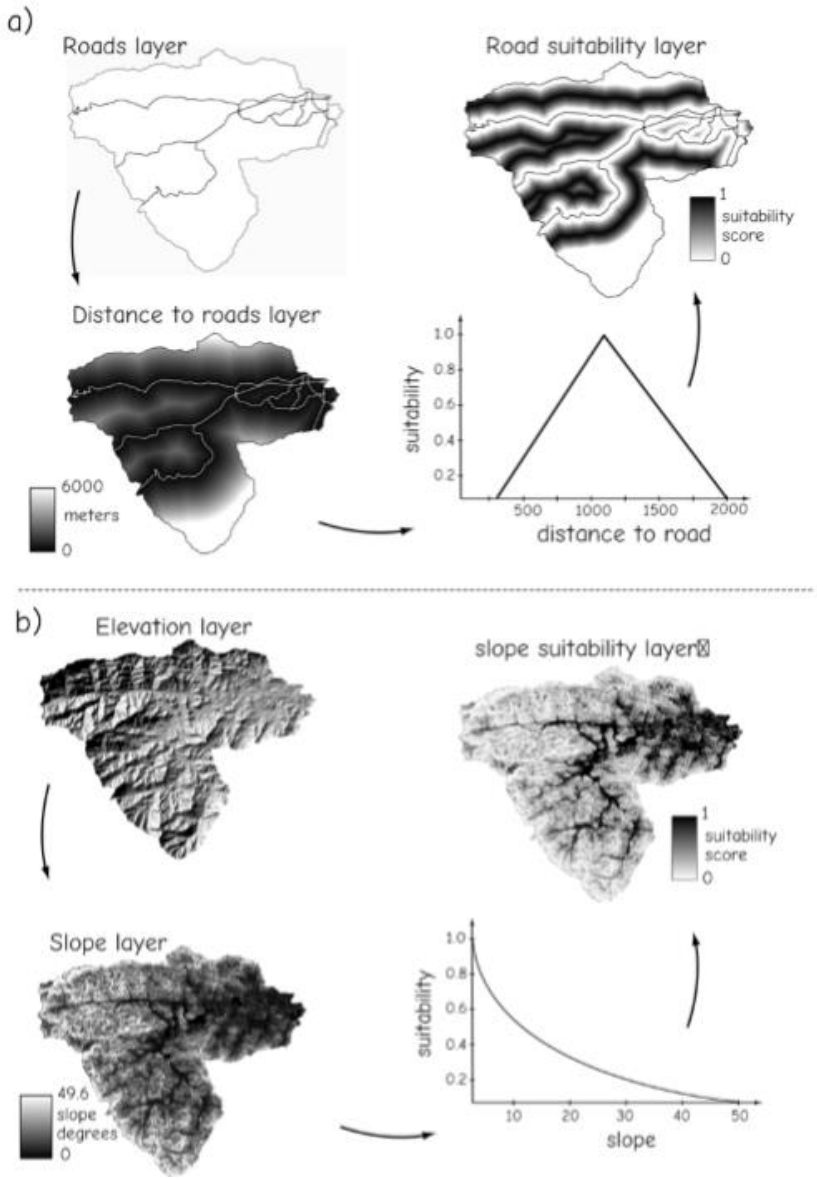
Kanan bawah Gambar 13-5 menunjukkan peringkat berkelanjutan pada rentang 0 hingga 10. Nilai tinggi 10 ditentukan untuk tanah yang paling produktif, dan nilai rendah 0 untuk tanah yang paling tidak produktif. Kami dapat menggunakan data produksi yang dikumpulkan dari sekumpulan jenis tanah, dan peta jenis tanah untuk menetapkan nilai relatif dari setiap tanah. Kami dapat menskalakan produksi dari yang terendah hingga tertinggi yang diamati pada rentang 0 hingga 10, dan dengan demikian membuat layer yang mewakili kriteria produktivitas tanah.

Kami tidak dibatasi untuk linier atau selalu meningkatkan atau menurunkan hubungan antara layer input kami dan layer kriteria kami. Mungkin ada hubungan yang kompleks antara nilai input dan skor atau nilai peringkat output kami. Kurva atau hubungan apa pun yang dapat kita buat dengan kombinasi fungsi matematika dan logika dapat direpresentasikan, untuk mencerminkan hubungan yang meningkat, menurun, atau kompleks.



Gambar 13.5: Pemeringkatan dalam lapisan kriteria harus didasarkan pada hubungan yang dapat dipertahankan, yang bentuknya telah ditetapkan melalui studi atau pengalaman yang memadai. Di sini, risiko paparan merkuri melalui konsentrasi dalam air minum telah dikaitkan dengan dampak kesehatan yang negatif. Kesesuaian atau peringkat bahaya dalam model kartografi harus didukung dengan baik oleh pengukuran.

Kita harus memiliki beberapa pembenaran untuk mengadopsi kurva tertentu ketika menetapkan peringkat relatif dalam suatu layer. Misalnya, kita mungkin ingin merepresentasikan bahaya merkuri berdasarkan konsentrasi metil merkuri dalam pasokan air di seluruh negara bagian. Mungkin ada berbagai konsentrasi merkuri rendah yang tidak ada atau sedikit dampak negatifnya terhadap kesehatan. Namun, ketika konsentrasi ambang tercapai, mungkin akan ada tanjakan yang cepat ke tikungan yang sangat curam, di mana risiko kerusakan parah sangat besar. Bentuk kurva ini harus ditetapkan melalui serangkaian studi epidemiologi, di mana konsentrasi merkuri dalam darah atau jaringan manusia terkait dengan air minum, dan dampak kesehatan dicatat bagi ribuan orang pada berbagai tingkat paparan merkuri.



Gmabar 13.7 : Contoh dua lapisan skor berkelanjutan untuk mewakili kriteria dalam model kartografi. Panel a, atas, menunjukkan kriteria jarak ganda ke jalan yang diterapkan menggunakan fungsi kesesuaian. Hal ini menghasilkan rentang skor kesesuaian yang berkelanjutan antara 0 dan 1. Pada panel b, fungsi kesesuaian yang berbeda diterapkan pada lapisan lereng, yang menghasilkan skor kesesuaian berkelanjutan untuk kriteria lereng.

Gambar 13-7 mengilustrasikan dua contoh skor kriteria berkelanjutan. Gambar 13-7a menunjukkan representasi kriteria jalan yang kompleks untuk model kartografi. Kriteria ini menetapkan bahwa lokasi yang diinginkan lebih besar dari 300 tetapi kurang dari 2000 m dari jalan. Grafik kiri atas Gambar 13-7a menunjukkan layer jalan asli. Mengikuti panah berlawanan arah jarum jam, Anda menemukan layer jarak, raster dengan jarak dari jalan terdekat yang tercatat di setiap nilai sel. Dalam contoh ini jarak berkisar dari 0 hingga 6000 m. Grafik di kanan bawah Gambar 13-7a menunjukkan fungsi penetapan kesesuaian. Nilai jarak dicatat di sepanjang sumbu horizontal, dan digunakan untuk menetapkan kesesuaian untuk bangunan, yang ditunjukkan pada sumbu vertikal. Fungsi ini memberikan skor kesesuaian 0 untuk jarak kurang dari 300 m. Kesesuaian meningkat dan jarak meningkat, secara linier, ke skor 1 pada jarak 1150 m setengah jalan antara 300 dan 2000. Skor kemudian menurun secara linier ke nilai 0 pada 2000 m, dan tetap 0 untuk semua jarak yang lebih besar dari 2000 m.

Gambar 13-7b mengilustrasikan peringkat skor kesesuaian yang berkelanjutan, dalam contoh ini untuk kemiringan. Kemiringan dihitung dari layer elevasi (Gambar 13-7b, kiri), mulai dari 0 hingga 49,6 derajat untuk kumpulan data ini. Nilai lereng ditransformasikan menjadi nilai kesesuaian lereng kontinu menggunakan fungsi peluruhan halus (kanan bawah, Gambar 137b). Nilai-nilai ini ditetapkan untuk setiap lokasi sel dalam layer data kesesuaian kemiringan output (kanan atas, Gambar 13-7).

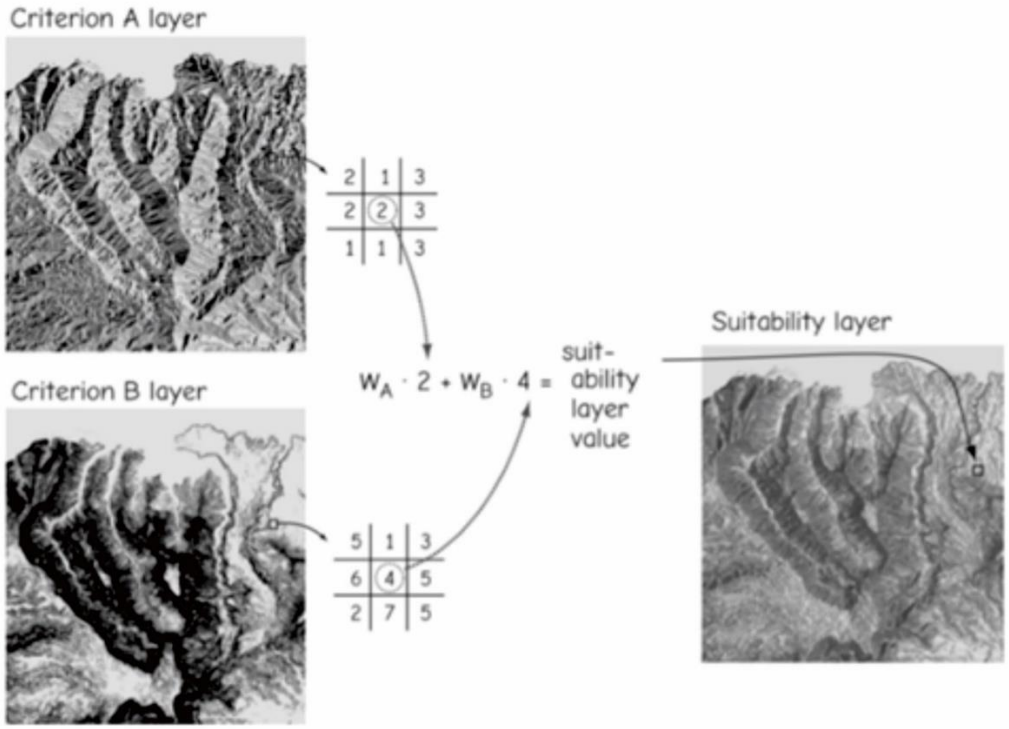
Perhatikan bahwa peringkat berkelanjutan ini dapat digabungkan, seringkali melalui proses penambahan berbobot, untuk menghasilkan skor kesesuaian gabungan. Berbagai layer kesesuaian dijumlahkan secara vertikal untuk memberikan skor gabungan total untuk setiap sel. Skor ini dapat digunakan untuk menentukan peringkat area pada kesesuaian relatif. Layer kesesuaian diskrit dan kontinu dapat digabungkan menggunakan campuran operasi Boolean dan penambahan untuk memberikan peringkat akhir. Kombinasi ini sering mengharuskan kita mendefinisikan kepentingan relatif dari setiap layer kriteria, proses yang dikenal sebagai pembobotan di antara kriteria.

13.2.4 Pembobotan Antar Kriteria

Kriteria yang berbeda harus digabungkan dalam banyak analisis spasial, biasanya dalam beberapa proses overlay atau penambahan (Gambar 13-8). Kita harus memilih bagaimana menimbang satu layer relatif terhadap yang lain. Seberapa penting kemiringan relatif terhadap aspek? Akankah aspek optimal mengimbangi situs yang cukup curam? Seberapa pentingkah isolasi relatif terhadap faktor-faktor lain? Karena kriteria akan digabungkan dalam layer data kesesuaian, bobot relatif yang diberikan setiap kriteria akan mempengaruhi hasil. Bobot relatif yang berbeda cenderung menghasilkan peringkat kesesuaian yang berbeda. Seringkali sulit untuk menetapkan bobot relatif ini secara objektif, terutama ketika kesesuaian bergantung pada ukuran yang tidak dapat diukur.

Penetapan bobot relatif paling mudah ketika pentingnya berbagai kriteria dapat dinyatakan dalam skala umum, seperti uang. Dalam contoh kami, kami mungkin dapat menetapkan nilai

moneter untuk efek kemiringan karena peningkatan biaya konstruksi. Jenis tanah dapat dikategorikan berdasarkan kapasitas septiknya. Sistem septik yang berbeda mungkin diperlukan untuk jenis tanah yang berbeda, baik melalui saluran drainase yang lebih besar atau spesifikasi sistem gundukan vs. sistem lapangan. Biaya dapat diperkirakan berdasarkan persyaratan variabel yang ditetapkan oleh jenis tanah. Biaya gangguan untuk kebisingan dan biaya jarak dalam waktu atau perjalanan yang hilang mungkin juga dihitung secara moneter. Mengurangi semua kriteria ke skala umum menghilangkan pembobotan diferensial di antara kriteria.



Gambar 13.6: Lapisan yang mewakili kriteria A dan B digabungkan dalam analisis kesesuaian. Kombinasi ini mengharuskan kita mendefinisikan kepentingan relatif dari dua kriteria, melalui spesifikasi bobot WA dan WB. Bobot ini dapat ditetapkan dengan menggunakan sejumlah metode, dan bobot tersebut akan sangat mempengaruhi nilai pada lapisan kesesuaian akhir.

Ada banyak contoh di mana skala pengukuran umum tidak ada dan tidak mungkin untuk mengembangkannya. Banyak peringkat didasarkan pada variabel yang sulit diukur. Nilai pribadi dapat menentukan jarak dari jalan yang merupakan "terisolasi" versus "pribadi", atau apa kepentingan relatif dari kemiringan vs. biaya konstruksi. Dalam kasus seperti itu, timbangan dan bobot dapat ditentukan dalam konferensi dengan pembuat keputusan. Pendapat ahli, wawancara kelompok, atau pertemuan pemangku kepentingan mungkin diperlukan jika ada banyak pihak atau pihak yang bersaing. Beberapa model berjalan mungkin diperlukan, masing-masing berjalan dengan serangkaian bobot relatif yang berbeda di dalam dan di antara kriteria. Proses multipel ini dapat mengungkapkan kriteria yang penting atau tidak penting di bawah semua bobot yang layak, serta kriteria yang berpengaruh di bawah rentang bobot yang terbatas.

Salah satu metode untuk menetapkan bobot didasarkan pada "peringkat kepentingan" mereka. Faktor (kriteria) yang digunakan untuk menentukan kualitas situs dapat diurutkan

berdasarkan kepentingannya, dari yang paling penting hingga yang paling tidak penting. Kami kemudian dapat menghitung bobot relatif sesuai dengan:

$$w_i = \frac{n - r_i + 1}{\sum_{k=1}^{n}(n - r_k + 1)}$$

di mana wi adalah bobot untuk kriteria i, n adalah jumlah kriteria, dan k adalah counter untuk menjumlahkan semua kriteria.

Misalkan kita ingin membuat peringkat situs untuk penempatan toko berdasarkan empat faktor: jarak ke pesaing terdekat, jarak ke jalan utama terdekat, kepadatan parkir, dan biaya parsel. Gambar 13-9 menunjukkan contoh perhitungan bobot kriteria berdasarkan peringkat kepentingan. Setiap kriteria tercantum di kolom paling kiri. Peringkat ditetapkan ke kriteria oleh perencana, klien, pembuat keputusan, atau kelompok yang berkepentingan. Pembilang rumus 13.1 dihitung untuk setiap kriteria, memberikan kriteria yang paling penting nilai tertinggi dan yang paling tidak penting nilai terendah. Penyebut dihitung dengan penjumlahan, dan kemudian bobot individu dihitung, seperti yang ditunjukkan di kolom paling kanan. Bobot ini kemudian dapat digunakan untuk menggabungkan data dari berbagai kriteria.

Criterion	Rank	Numerator $(n - r_i + 1)$	Weight $(n - r_i + 1) / \sum_{k=1}^{n}(n - r_k + 1)$
distance to nearest competitor	2	4-2+1 = 3	3/10 = 0.3
distance to major road	3	4-3+1 = 2	2/10 = 0.2
parking density	4	4-4+1 = 1	1/10 = 0.1
parcel cost	1	4-1+1 = 4	4/10 = 0.4
		$\sum_{k=1}^{n}(n - r_k + 1) = 10$	

Perhatikan bahwa ada beberapa asumsi dalam contoh ini. Pertama, kami berasumsi bahwa nilai-nilai di setiap layer yang terkait dengan setiap kriteria memiliki rentang yang sesuai, atau setidaknya berada pada skala yang sama. Pada Gambar 13-8, nilai untuk layer kriteria A dan layer kriteria B bervariasi pada kisaran yang kira-kira sama. Jika satu layer memiliki rentang dari 1000 hingga 5000 dan yang lainnya memiliki nilai 1 hingga 5, maka ini akan mempengaruhi kombinasi dan peringkat kesesuaian akhir.

Kedua, kita mungkin secara implisit mengasumsikan bahwa skala kira-kira linier dalam peringkat kita di dalam dan di seluruh kriteria. Kami sering menggabungkan nilai dalam layer kriteria menggunakan operasi aritmatika, misalnya, dengan menjumlahkan nilai dengan bobot (Gambar 13-9). Bobot relatif di antara dan di dalam setiap layer dicampur, yang seringkali merupakan tindakan logis di bawah asumsi linearitas. Hubungan yang sangat nonlinier dalam skala peringkat dan pembobotan sering kali mengarah pada kesesuaian yang berlawanan dengan intuisi dan tidak diinginkan.

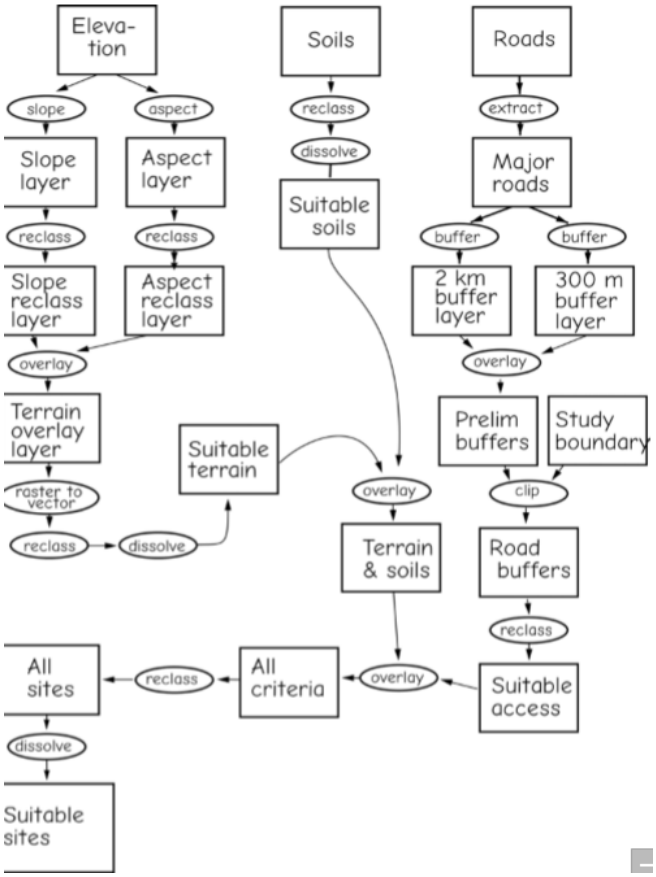
13.2.5 Model Kartografi: Contoh Terperinci

Di sini kami memberikan deskripsi rinci tentang langkah-langkah yang terlibat dalam menentukan dan menerapkan model kartografi. Kami menggunakan penyempurnaan kriteria umum untuk pemilihan lokasi rumah yang dijelaskan di bagian sebelumnya. Kriteria umum ini tercantum di sisi kiri dan kriteria yang disempurnakan ditampilkan di sisi kanan Tabel 13-1. Kriteria yang disempurnakan mungkin telah ditentukan setelah diskusi lebih lanjut dengan para pengambil keputusan, pakar daerah setempat, dan peninjauan data dan metode yang tersedia.

Tabel 13.1 Kriteria asli dan halus untuk contoh model kartografi

Kriteria Umum	**Kriteria Halus**
Kemiringan tapi tidak datar	Kemiringan < 30 derajat
Aspek selatan lebih disukai	90<aspek<270
Tanah yang cocok untuk sistem septik	Daftar yang ditentukan pada tanah yang cocok
Cukup dari jalan untuk memberikan privasi, tetapi tidak terisolasi	300 meter < jarak menuju jalan raya < 2000 meter

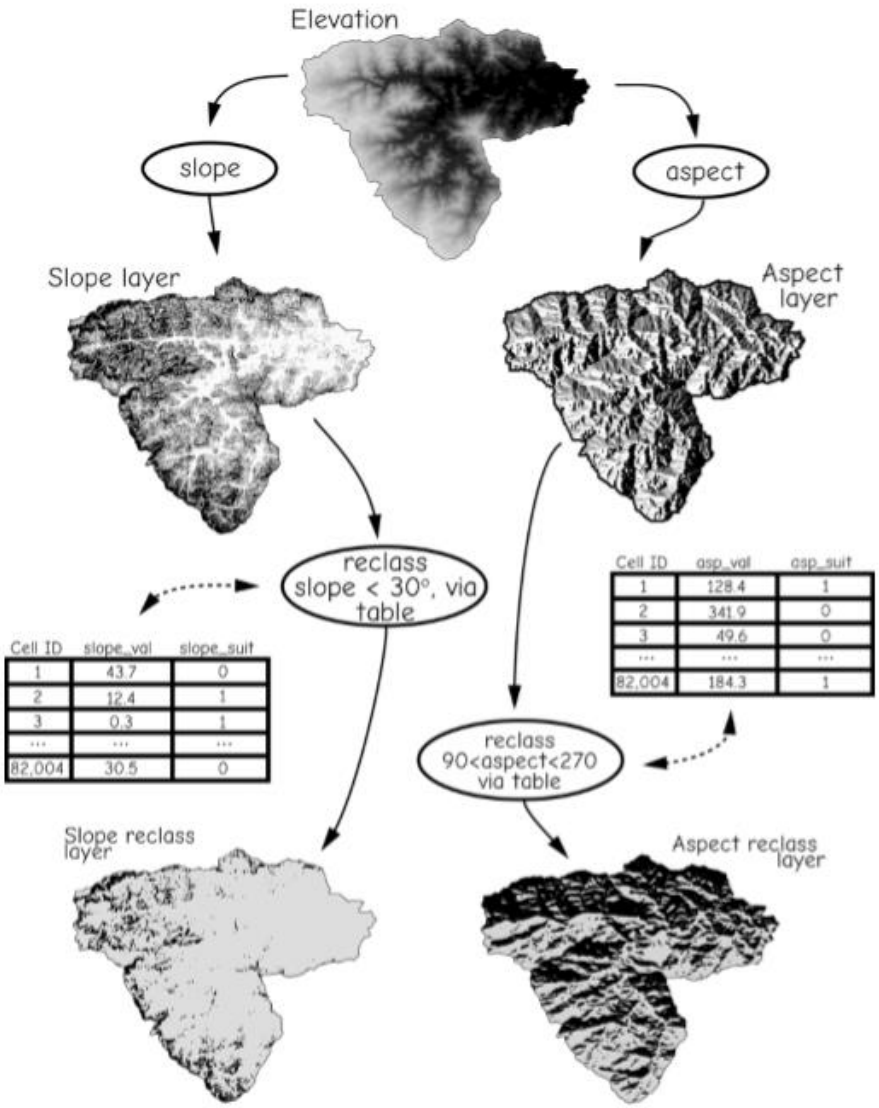
Perhatikan bahwa kami mengadopsi skema pembobotan dan peringkat yang paling sederhana dalam menerapkan kriteria pada Tabel 13-1. Semua kriteria memiliki bobot yang sama, dan semua kriteria adalah biner—tanah dikategorikan tidak sesuai atau sesuai berdasarkan kriteria masing-masing. Sebuah lokasi harus melewati semua kriteria agar cocok, dan peringkat akhir cocok atau tidak cocok



Gambar 13.10 : Flowchart untuk model kartografi kesesuaian lokasi rumah. Tiga lapisan data dasar dimasukkan. Urutan operasi spasial digunakan untuk menerapkan kriteria dan menghasilkan peta lokasi yang sesuai.

Dalam contoh kami, kami akan menerapkan model kartografi yang dijelaskan oleh diagram alir pada Gambar 13-4 ke daerah aliran sungai kecil di daerah studi pegunungan. Penerapan kriteria yang disempurnakan membutuhkan tiga layer data dasar—elevasi, tanah, dan jalan. Untuk contoh ini, kami berasumsi bahwa tiga layer data tersedia pada akurasi posisi dan atribut yang diperlukan, dijepitkan ke area studi yang diminati. Kebutuhan layer data baru sering menjadi jelas selama proses menerjemahkan kriteria awal, umum ke spesifik, kriteria halus, atau selama pengembangan diagram alur yang menggambarkan model kartografi. Setelah ketersediaan dan kualitas data terjamin, kami dapat menyelesaikan diagram alur akhir.

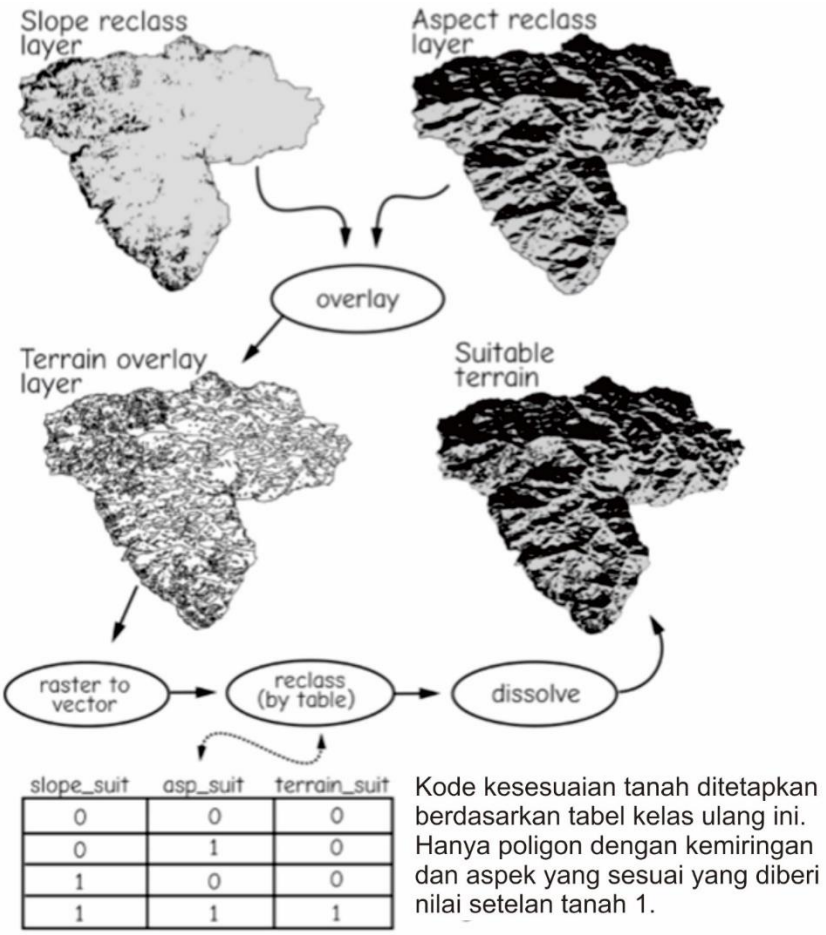
Gambar 13-10 berisi diagram alur model kartografi yang dapat mengidentifikasi lokasi yang sesuai. Layer data spasial ditampilkan sebagai persegi panjang, dan nama layer data deskriptif disertakan dalam persegi panjang. Operasi spasial atau fungsi yang terkandung dalam elips, dan panah menentukan urutan layer data dan operasi spasial. Tiga layer data dasar, elevasi, tanah, dan jalan, ditampilkan di bagian atas diagram alur.



Gambar 13.11 : Penggambaran rinci dari cabang paling kiri dari model kartografi ditunjukkan pada Gambar 13-10. Kemiringan dan aspek diturunkan dari lapisan data elevasi untuk wilayah studi. Kedua lapisan kemudian direklasifikasi menggunakan tugas tabel. Nilai lereng < 30 diklasifikasi ulang sebagai sesuai (abu-abu), semua lereng lainnya sebagai tidak sesuai (hitam). Nilai aspek antara 90 dan 270 diklasifikasi ulang sebagai sesuai (abu-abu), semua lainnya sebagai tidak sesuai (hitam).

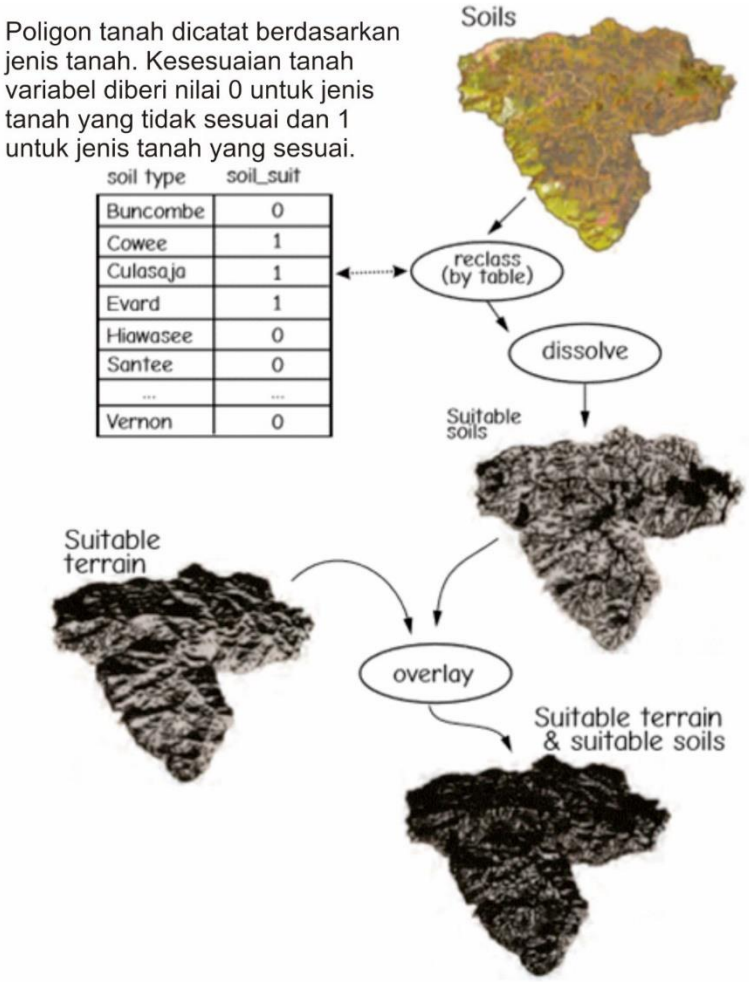
Ada tiga cabang utama dalam diagram alur pada Gambar 13-10. Cabang paling kiri membahas kriteria terkait medan, cabang tengah membahas kriteria tanah, dan cabang kanan menerapkan kriteria jarak jalan. Ketiga cabang bergabung dalam model kartografi, menghasilkan klasifikasi kesesuaian akhir.

Cabang kiri model kartografi ditunjukkan secara rinci pada Gambar 13-11. Gambar rinci ini dan selanjutnya menunjukkan thumbnail dari layer data spasial pada setiap langkah dalam proses. Nama layer data berdekatan dengan layer data spasial. Dua kriteria pertama melibatkan kendala terkait medan. Situs yang sesuai diharuskan memiliki serangkaian lereng dan aspek yang terbatas. Kriteria ini memerlukan kemiringan dan layer data aspek, untuk dihitung dan kemudian diklasifikasikan ke dalam area yang memenuhi dan tidak memenuhi kriteria masing-masing. Layer data elevasi ditunjukkan di bagian atas Gambar 13-11; elevasi rendah dalam warna hitam melalui elevasi yang lebih tinggi dalam nuansa yang lebih terang. Ada dua sistem sungai utama di wilayah studi, satu mengalir dari barat ke timur di bagian utara wilayah studi, dan satu mengalir dari selatan ke utara. Daerah dataran tinggi terdapat di sepanjang batas utara, barat, dan timur daerah penelitian.



Gambar 13.12 : Kemiringan yang dikodekan ulang dan lapisan data aspek digabungkan dalam operasi overlay, dan hasilnya diklasifikasi ulang. Medan yang cocok ditampilkan dalam warna abu-abu, tidak sesuai dengan warna hitam.

Kemiringan dan aspek diturunkan dari layer data elevasi (Gambar 13-11). Nilai kemiringan yang lebih rendah ditampilkan dalam nuansa terang, nilai kemiringan yang lebih tinggi ditampilkan dalam nuansa gelap, dan aspek ditampilkan dalam rentang nuansa terang hingga gelap dari 0 hingga 360 derajat.

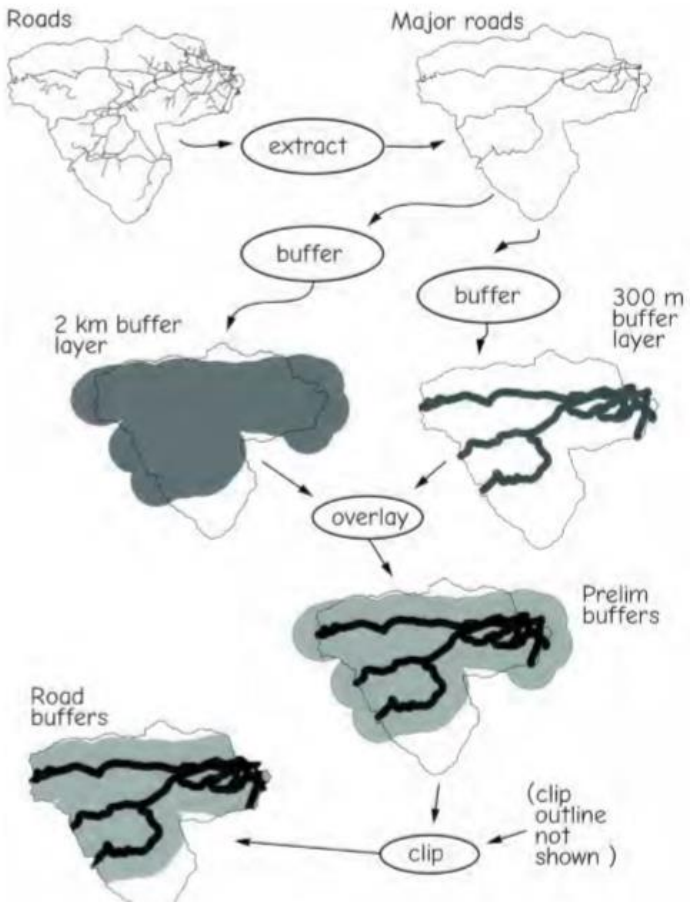


Gambar 13.13 : A detailed prediction of the center branch of the cartographic model. Soils data are reclassified into those suitable for septic systems and those not, and then combined with the suitable terrain data layer to identify sites acceptable based on both criteria.

Kemiringan dan layer aspek diklasifikasi ulang berdasarkan nilai ambang batas yang ditentukan dalam kriteria yang tercantum dalam Tabel 13-1. Tabel reklasifikasi digunakan untuk menetapkan nilai ke variabel slope_suit berdasarkan layer kemiringan. Sel dengan slope_val kurang dari 30 diberi slope_suit 1, sedangkan sel dengan slope_val 30 atau lebih tinggi diberi nilai slope_suit 0. Nilai aspek juga diklasifikasi ulang menggunakan tabel. Kemiringan dan aspek layer digabungkan dalam overlay, dikonversi dari raster ke vektor, dan diklasifikasi ulang untuk menghasilkan layer medan yang sesuai (Gambar 13-12). Konversi raster ke vektor dipilih karena dua dari tiga layer data dasar berada dalam format vektor, dan karena pemilihan kompleks di masa mendatang mungkin lebih baik didukung oleh struktur

data atribut yang digunakan untuk kumpulan data vektor. Konversi ini membuat poligon yang memiliki atribut layer data raster input. Perhatikan bahwa konversi ini terjadi setelah layer raster diklasifikasi ulang menjadi sejumlah kecil kelas, dan setelah data digabungkan menjadi satu layer dalam overlay. Konversi raster-ke-vektor berlangsung lebih cepat setelah jumlah kelas raster dikurangi dan data digabungkan dalam satu layer kesesuaian medan.

Overlay medan kemudian harus diklasifikasi ulang untuk mengidentifikasi area yang memenuhi kriteria kemiringan dan aspek (lihat pengkodean kesesuaian medan pada Gambar 13-12). Poligon dengan 1 untuk slope_suit dan asp_suit diberi nilai 1 untuk terrain_suit. Semua yang lain diberi nilai 0, yang menunjukkan bahwa mereka adalah situs rumah yang tidak sesuai berdasarkan kemiringan dan/atau kriteria aspek.



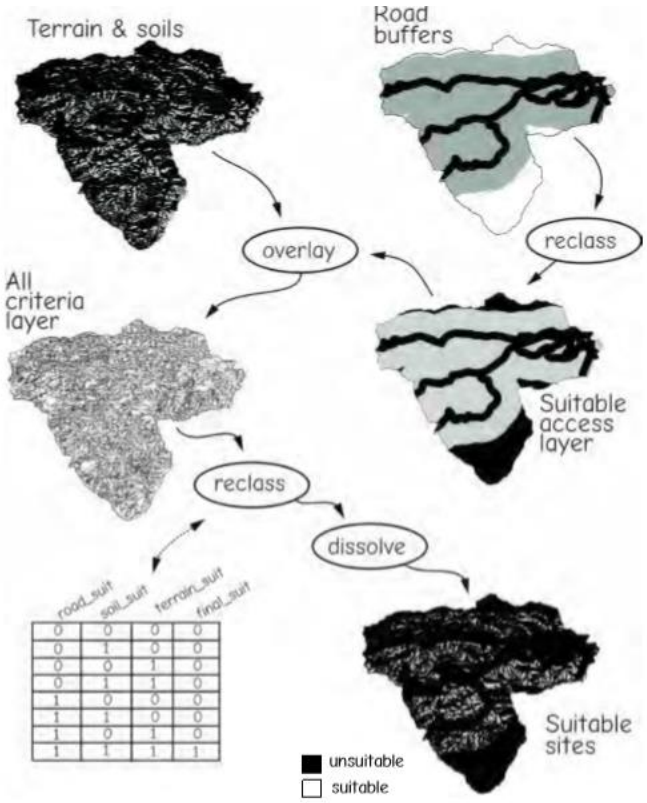
Gambar 12.14Sebuah representasi rinci dari cabang kanan model kartografi ditunjukkan pada Gambar 13-10. Jalan disangga pada 300 meter dan 2 kilometer, dan penyangga ini tumpang tindih. Penyangga dijepitkan ke wilayah studi, dan area yang sesuai lebih dari 300 meter dan kurang dari 2 kilometer dari jalan yang diidentifikasi.:

Karena kami ingin mengurangi jumlah poligon redundan jika memungkinkan, pembubaran diterapkan setelah reklasifikasi. Ini secara substansial mengurangi ukuran kumpulan data output, dan mempercepat pemrosesan di masa mendatang. Data medan terlarut yang diklasifikasi ulang disimpan dalam layer berlabel Medan Cocok (Gambar 13-12).

Cabang pusat model kartografi ditunjukkan pada Gambar 13-13. Survei tanah digital tersedia yang menggambarkan unit tanah homogen sebagai poligon. Data atribut dilampirkan pada

setiap poligon, termasuk jenis tanah dan kesesuaian tanah untuk sistem septik. Data tanah untuk wilayah studi dapat direklasifikasi berdasarkan atribut kesesuaian septik ini. Tabel reklasifikasi memberikan nilai 1 untuk variabel soil_suit jika jenis tanah cocok untuk sistem septik, 0 jika jenis tanah tidak sesuai (Gambar 13-13).

Setelah reklasifikasi mungkin ada banyak poligon tanah yang berdekatan dengan nilai soil_suit yang sama. Ini dikelompokkan menggunakan operasi pembubaran. Dilarutkan menghilangkan batas antara poligon yang sama, sehingga secara substansial mengurangi jumlah poligon dan karenanya jumlah entri dalam tabel atribut. Ini mungkin sangat penting dengan kumpulan data kompleks seperti data tanah, atau dengan data raster yang dikonversi, karena ini sering memiliki ribuan entri, banyak di antaranya akan digabungkan setelah pembubaran.



Gambar 13.15 : Overlay dan reklasifikasi dari lapisan data gabungan. Data medan, tanah, dan penyangga jalan digabungkan dalam satu hamparan. Data ini diklasifikasi ulang berdasarkan kriteria kesesuaian. Pembubaran akhir diterapkan untuk mengurangi jumlah poligon, menghasilkan lapisan akhir dari lokasi yang sesuai.

Cabang kanan model kartografi disajikan pada Gambar 13-14. Layer data Jalan diperoleh dan Jalan utama diekstraksi. Ini memiliki efek menghapus semua jalan kecil dari pertimbangan dalam analisis lebih lanjut. Apa yang merupakan jalan utama telah ditentukan sebelum langkah ini. Dalam hal ini, semua jalan terbagi dan multijalur di wilayah studi dipilih. Dua penyangga diterapkan, satu pada jarak 300 m dan satu pada jarak 2 km dari jalan utama. Buffer ini kemudian di-overlay. Karena daerah penyangga memanjang di luar wilayah studi, maka penyangga harus dijepitkan ke batas wilayah studi. Data ini kemudian diklasifikasi ulang menjadi area yang sesuai dan tidak sesuai, menghasilkan layer penyangga Jalan (kiri bawah, Gambar 13-14).

Semua layer data digabungkan dalam satu set layer akhir dan klasifikasi ulang (Gambar 13-15). Layer akses yang sesuai, yang diturunkan dari data dan kriteria jalan, digabungkan dengan layer Medan & tanah. Layer Semua kriteria berisi data spasial yang diperlukan untuk mengidentifikasi situs yang cocok vs. tidak cocok. Layer overlay ini harus direklasifikasi berdasarkan variabel kesesuaian jalan, tanah, dan medan, mengklasifikasikan semua lokasi potensial ke dalam kelas yang sesuai atau tidak sesuai. Pembubaran akhir menghasilkan layer data digital akhir, Situs yang sesuai.

Analisis contoh ini, meskipun sederhana dan cakupannya terbatas, menggambarkan fleksibilitas dan kompleksitas analisis data spasial menggunakan model kartografi. Dalam beberapa hal model kartografi sederhana karena hanya tiga layer data spasial input yang diperlukan, dan sejumlah kecil operasi data spasial digunakan. Operasi kelas ulang, overlay, dan pembubaran digunakan berulang kali, dengan buffer, kemiringan, aspek, dan konversi raster-ke-vektor juga diterapkan. Pemodelan ini fleksibel karena operasi spasial dapat dipilih untuk masalah tertentu; misalnya, setiap pengodean ulang dapat disesuaikan di setiap aplikasi. Akhirnya, contoh ini menggambarkan kompleksitas yang dapat diperoleh dengan pemodelan kartografi, di mana lebih dari 20 contoh operasi spasial yang berbeda diterapkan, dalam urutan yang ditentukan, menghasilkan setidaknya 15 layer data perantara serta layer hasil akhir.

13.2.6 Model Spasial Sederhana

Model spasial prediktif umumnya diterapkan, terutama ketika ada model yang mapan berdasarkan pengamatan dan analisis titik atau skala kecil, dan ketika outputnya adalah variabel kontinu, misalnya, suhu, nilai perumahan, tingkat erosi tanah, atau frekuensi kanker.

Seperti disebutkan sebelumnya, model spasial sederhana kami biasanya didasarkan pada satu atau beberapa rumus, yang dijelaskan sebagai:

$$O = f(A, B, C, D, \beta_1, \beta_2, \dots)$$

di mana O adalah output referensi spasial; f() adalah operasi matematika; A, B, C, D, adalah variabel; dan bi adalah parameter rumus. Misalnya, NASA telah mensponsori pengembangan model global produktivitas primer kotor (GPP), total biomassa yang diproduksi secara global oleh tanaman pada tahun tertentu. Satu model umum berbentuk:

$$GPP = \varepsilon * NDVI * PAR$$

di mana NDVI adalah ukuran kelimpahan tanaman berbasis satelit, PAR adalah jumlah sinar matahari yang tersedia untuk fotosintesis, dan adalah efisiensi konversi, yang mungkin tetap, atau yang mungkin bergantung pada faktor tambahan, seperti jenis vegetasi atau kekeringan tanah atau Tipe. Dalam contoh ini rumus kita adalah perkalian sederhana dari komponen, dan adalah parameter unik dalam kasus paling sederhana dari tetap. Dalam bentuk yang lebih rumit, ada yang berbeda untuk setiap jenis vegetasi, diterapkan sesuai.

Model spasial sederhana membutuhkan bidang spasial dari semua variabel, dan parameter yang sesuai untuk semua kondisi di area yang dimodelkan. Dalam contoh GPP kami di atas, kami harus memiliki perkiraan NDVI dan PAR di wilayah prediksi kami. Dalam kasus khusus ini, pengukuran kuat NDVI telah dikembangkan berdasarkan pengukuran satelit berulang, seperti halnya metode untuk memperkirakan PAR dari jaringan meteorologi dan sistem pengukuran

yang tersedia. Nilai telah diperkirakan untuk jenis vegetasi yang dominan, dan bagaimana parameter ini bervariasi dengan faktor lingkungan lain seperti suhu dan kelembaban yang tersedia. Perkiraan model telah dibandingkan dengan pengukuran di berbagai kondisi.

Meskipun kami menyebut model spasial sederhana ini, seperti yang akan ditunjukkan oleh contoh sebelumnya dan selanjutnya, seringkali memakan waktu dan sulit untuk mengembangkan data spasial dan memperkirakan parameter untuk menerapkan model ini di seluruh ruang. Model sering kali didasarkan pada hubungan dan pengukuran yang diamati pada titik atau plot kecil, misalnya, pertumbuhan tanaman pada hari cerah vs. berawan, atau perubahan GPP di seluruh tegakan hutan terdekat dengan nilai NDVI yang berbeda. Ini mungkin cukup untuk memperkirakan untuk tipe tertentu, tetapi perbedaan di antara tipe vegetasi mungkin memerlukan pengukuran berulang pada rentang kondisi yang luas. Jaringan stasiun lapangan, mungkin dalam kombinasi dengan data penginderaan jauh, mungkin diperlukan untuk memperkirakan variabel input, misalnya, PAR pada interval yang diperlukan di seluruh lanskap.

Revisi Universal Soil Loss Equation (RUSLE) dan pendahulunya Universal Soil Loss Equation (USLE) adalah salah satu model spasial sederhana yang paling banyak digunakan:

$$E = R.K.C.P.L.S$$

di mana E adalah erosi tahunan rata-rata, R adalah faktor curah hujan, K mencerminkan erodibilitas tanah, C mengintegrasikan efek tanaman, P memperhitungkan praktik pengelolaan, L mencerminkan panjang lereng, dan S mewakili kecuraman.

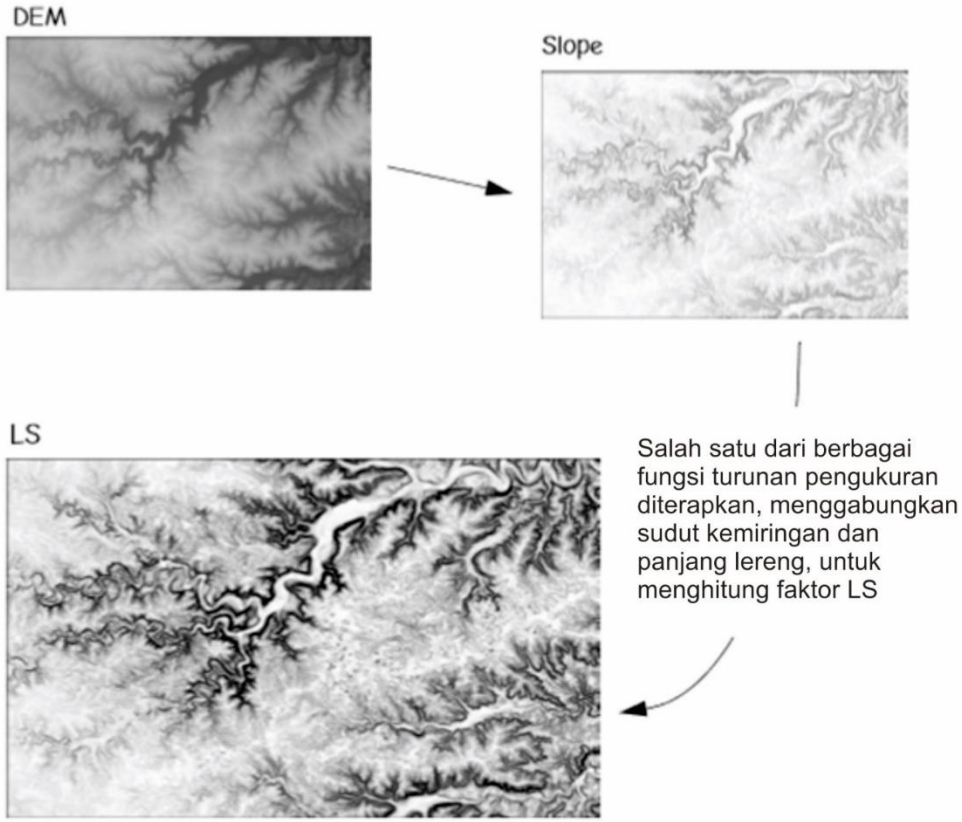
USLE/RUSLE memprediksi erosi tanah di lahan pertanian, dan telah dikembangkan sejak tahun 1930-an. Intensitas curah hujan, sifat tanah, jenis tanaman, kecuraman lereng, dan faktor panjang lereng telah diukur dalam puluhan ribu plot. Informasi pendukung telah dikembangkan untuk seluruh negara oleh Layanan Konservasi Sumber Daya Alam AS.

USLE dan RUSLE telah banyak diterapkan di negara lain. RUSLE telah diterapkan secara luas dalam kerangka GIS untuk perkiraan erosi pada daerah tangkapan air atau skala yang lebih besar. Modelnya relatif sederhana, banyak data masukan telah dikembangkan dan tersedia untuk umum, dan outputnya menarik minat luas. Metode penerapan model bervariasi, sebagian karena model dikembangkan untuk masing-masing bidang, tetapi data spasial seringkali tidak tersedia pada basis er-bidang. Sementara faktor curah hujan, R, umumnya serupa di seluruh wilayah berukuran kabupaten yang membentang puluhan kilometer, faktor-faktor lain sering berubah berdasarkan bidang atau subbidang. Aplikasi sering berbeda dalam metode untuk memperkirakan manajemen dan faktor tanaman, dan khususnya sebuah kombinasi faktor panjang lereng dan kecuraman.

Memperkirakan variabel penggerak melintasi ruang sering menghadirkan pilihan, seperti yang diilustrasikan dalam perhitungan faktor kemiringan RUSLE, L dan S (Gambar 13-16). Model spasial sederhana seringkali didasarkan pada studi area kecil dimana semua variabel dapat dengan mudah diukur. Hal ini sering tidak benar ketika menerapkan model ke area yang lebih luas. Kecuraman lereng (faktor S) mudah diperkirakan dalam kerangka raster, tetapi panjang lereng (L) dianggap seragam pada panjang tetap 22,1 m (72,6 kaki) dalam RUSLE standar. Penerapan RUSLE pada kemiringan yang konvergen atau divergen atau pada panjang atau ukuran sel yang berbeda dari standar dapat mengakibatkan kesalahan prediksi. Tantangan ini

telah menjadi fokus banyak penelitian, dan bab buku oleh Wilson dan Lorang, yang tercantum dalam referensi, menjelaskan beberapa metode yang digunakan untuk memperkirakan kombinasi L dan S secara efektif.

Faktor K, C, dan P yang tersisa dapat diturunkan dari kumpulan data spasial standar, misalnya, data NASS atau NLCD untuk jenis dan perlakuan tutupan lahan/tanaman, dan faktor K dari data SSURGO (Gambar 13-17). Penerapan model pada data spasial, di sini dalam perkalian sel demi sel, menghasilkan perkiraan erosi di seluruh wilayah.



Gambar 13.16 : Penskalaan dari plot ke lanskap memerlukan perkiraan semua data masukan lintas ruang. Untuk USLE/RUSLE, beberapa metode telah dikembangkan untuk mengestimasi faktor LS, umumnya berdasarkan kombinasi kemiringan dan panjang lereng yang diperoleh dari data DEM.

13.3 Penggunaan Sistem Informasi Geografis

Daftar contoh penggunaan GIS berikut ini hampir tidak lengkap, tetapi saat Anda membacanya, Anda mungkin menemukan ide yang akan Anda terapkan pada bidang minat atau studi Anda.

13.3.1 Tanah dan Penggunaannya

Dengan mengabaikan kemungkinan bencana yang tiba-tiba, faktor terkuat tentang bagaimana segala sesuatunya akan terjadi di masa depan adalah keadaannya saat ini. Seorang perencana atau manajer yang gagal memberi informasi tentang keadaan dan karakteristik lingkungan saat ini akan salah merencanakan dan salah kelola.

Mungkin variabel terpenting dalam database geografis adalah sebagai berikut:

1. Apa yang sekarang ada di lahan (tutupan lahan dan sumber daya)
2. Bagaimana lahan digunakan (penggunaan lahan dan kegiatan yang berorientasi pada manusia)
3. Apa yang diizinkan secara hukum untuk terjadi pada tanah (zonasi dan kontrol hukum)

Ketika keadaan lingkungan saat ini, atau bagian-bagiannya yang menjadi perhatian kita, dicatat dalam bentuk yang dapat diproses, kita dapat mulai membuat keputusan tentang pengubahannya untuk penggunaan lain. Sistem informasi geografis dapat berguna dalam menangani setidaknya tiga kategori umum masalah:

- Menentukan dampak kegiatan atau penggunaan lahan tertentu di lokasi tertentu (terkadang disebut analisis dampak lingkungan).
- Untuk aktivitas tertentu, dengan karakteristiknya yang diketahui, dapat menentukan sekumpulan lokasi di mana aktivitas tersebut dapat ditempatkan (terkadang disebut analisis lokasi).
- Untuk lokasi atau situs tertentu, dapat menentukan serangkaian kegiatan penggunaan lahan yang mungkin ditempatkan di sana (terkadang disebut analisis situs).

Sekarang mari kita melihat secara singkat berbagai area spesifik di mana sistem informasi geografis dapat berdampak. Desakan presentasi sebagian besar berdasarkan contoh dan jauh dari komprehensif. Format yang akan kita gunakan, sebagian besar, adalah sebagai berikut:

1. Contoh jenis data spasial (dan lainnya) yang mungkin disimpan
2. Manfaat yang mungkin diperoleh dengan penggunaan data tersebut secara hati-hati

Faktor penting untuk diperhatikan berikut ini adalah tingkat tumpang tindih di antara variabel-variabel dari berbagai bidang yang menjadi perhatian.

13.3.2 Lingkungan Alam

Pengetahuan tentang keadaan lingkungan alami tanah sangat penting untuk menentukan apa yang harus dilestarikan, apa yang harus ditingkatkan, kegiatan apa yang dapat didukung, dampak apa yang mungkin terjadi dari penggunaan tertentu, dan sejumlah pertanyaan lainnya.

Perubahan ini — realisasi dari "pesawat ruang angkasa bumi" —telah terjadi sejak 1960-an dan memiliki banyak efek yang mendalam dan luas. Sebagai akibat parsial, banyak upaya pertama yang menggunakan sistem informasi spasial untuk mendukung pengambilan keputusan menggunakan penyimpanan informasi ilmu pengetahuan alam sebagai basisnya.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:

1. Iklim
2. Batuan dasar
3. Geologi permukaan
4. Fisiografi
5. Hidrologi
6. Tanah
7. Penutup vegetatif
8. Habitat satwa liar
9. Help Us

a. Mengidentifikasi, menggambarkan, dan mengelola area yang menjadi perhatian lingkungan
b. Menganalisis daya dukung lahan
c. Menulis pernyataan dampak lingkungan

13.3.3 Energi

Potensial energi memberikan manfaat untuk manusia dalam berbagai bentuk — minyak, gas, batu bara, kepala hidrolik, angin, pasang surut, matahari, fisi, fusi — dan selalu berakhir dengan cara yang sama: *panas*.

Ada banyak sekali masalah yang terkait dengan transfer potensial energi yang efisien dan berguna menjadi panas; Sebagian besar waktu kita gunakan untuk membuang energi dalam jumlah besar karena kita tidak mengalihkannya menjadi proses tertentu — misalnya, pembangkit listrik tenaga nuklir membuang panas dalam jumlah besar ke sungai yang merugikan ikan dan merugikan manusia yang membayar gas untuk panas rumah mereka. Sistem informasi geografis bukanlah jawaban atas penggunaan energi yang masuk akal, tetapi merupakan alat yang dapat membantu mengurangi pemborosan energi. Data yang didistribusikan secara spasial mengenai sumber energi, pergerakan energi, dan semua jenis penggunaan energi dapat mengarah pada pemahaman yang lebih baik tentang pemborosan kita dan cara mencegahnya. Kumpulan data ini dapat mengarah pada penemuan sumber energi baru dan cara pemanfaatannya. Dan dapat mengingatkan kita akan bahaya pasokan air dari metode ekstraksi gas dan minyak, seperti rekahan hidraulik batuan bawah permukaan, (*fracking*).

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) tentang berikut ini:

1. Sumber potensial energi
    a. Lokasi
    b. Ukuran
    c. Biaya ekstraksi atau penyadapan
    d. Lingkungan sekitar
    e. Akses
    f. Kemampuan memproses
2. Sistem distribusi energi
    a. Lokasi
    b. Jalan
    c. Kapasitas
    d. Fasilitas penyimpanan menengah
    e. Jenis energi yang disalurkan
    f. Tingkat bahaya dalam ekstraksi
3. Pola penggunaan energi
    a. Industri
    b. Perumahan
    c. Penggunaan puncak
    d. Distribusi menurut karakteristik pengguna
4. dapat mengarah pada informasi yang memungkinkan analisis
    a. Biaya pemindahan energi
    b. Sisa cadangan energi yang tersedia

   c. Efisiensi skema alokasi yang berbeda
   d. Limbah
   e. Polusi panas
5. dapat mengarah pada informasi untuk menggambarkan
   a. Area berbahaya bagi manusia
   b. Dampak lingkungan
6. dapat mengarah pada informasi untuk mengembangkan
   a. Jalur distribusi baru
   b. Skema alokasi sumber daya

13.3.4 Sumber daya manusia

Ini adalah untuk orang-orang yang menjalankan pemerintahan kita. Terutama orang-orang yang menggunakan tanah, energi, dan sumber daya, dan, sebagian lain, orang-orang yang merasakan efek dari penggunaan yang buruk.

Sejumlah besar data tentang orang tidak disimpan dalam format spasial setidaknya karena dua alasan:

- Mereka berpindah-pindah — hari ke hari dan tahun ke tahun.
- Kita melindungi privasi mereka sampai batas tertentu.

Namun, penyimpanan informasi tentang sumber daya manusia dan kondisi dalam konteks spasial menawarkan dua keuntungan utama:

- Memungkinkan kita untuk menangani secara langsung perhatian utama kita: umat manusia.
- Banyak kumpulan data telah dikembangkan, sebagian besar oleh Biro Sensus, sedemikian rupa sehingga memungkinkan pemuatan yang relatif mudah ke dalam Database spasial, meskipun — untuk alasan privasi dan alasan yang terkait dengan misi sensus — "butir" dari penyimpanan informasi dua dimensi seperti itu sangat kasar untuk sebagian besar aplikasi.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) tentang manusia:

1. Dimana mereka tinggal
2. Berapa banyak makanan yang mereka konsumsi
3. Berapa banyak uang yang mereka hasilkan
4. Berapa umur mereka
5. Apa yang mereka buang
6. Dimana mereka bermain
7. Kejahatan apa yang menimpa mereka
8. Kecelakaan apa yang menimpa mereka
9. Fasilitas apa yang tersedia untuk pekerjaan, belanja, dan pembelajaran mereka
10. dapat mengarah pada informasi:
11. Untuk merencanakan
    a. Angkutan massal
    b. tempat rekreasi
    c. Alokasi unit polisi

    d. Tugas murid
12. Untuk menganalisa
    a. Pola migrasi
    b. Pertumbuhan populasi
    c. Pola kejahatan
    d. Kebutuhan untuk kesejahteraan
13. Untuk mengelola
    a. Layanan publik dan pemerintah
    b. Gaya hidup berkelanjutan

13.3.5 Bidang-bidang Masalah Lingkungan yang Kritis

Area yang menjadi perhatian lingkungan kritis adalah wilayah geografis yang penting bagi kebutuhan manusia. Lingkungan itu tidak hanya menjalankan fungsi yang berkaitan dengan kesehatan, keselamatan, dan kesejahteraan masyarakat umum, tetapi juga dapat melayani kebutuhan ekonomi dan pendidikan. Suatu kawasan dapat menjadi lingkungan yang kritis ketika sumber daya alam menjadi langka atau terancam melalui tindakan manusia, atau ketika kawasan itu sendiri menghadirkan ancaman bagi populasi manusia.

1. Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:
    a. Lahan pertanian
    b. Sumber daya alam dan pemandangan
    c. Tanah
    d. Akuifer
    e. Bahaya geologi dan geologi
    f. Habitat satwa liar
    g. Vegetasi
    h. Dataran banjir
    i. Lahan basah
    j. Daerah penelitian
    k. Sungai yang liar dan indah
    l. Kegiatan budaya
    m. Jaringan transportasi
2. dapat mengarah pada informasi untuk memfasilitasi
    a. Identifikasi sumber daya unik
    b. Pengelolaan kawasan yang ditentukan
    c. Penentuan kepentingan relatif dari jenis sumber daya

13.3.6 Air

Air merupakan sumber daya terpenting yang berfungsi dalam proses lingkungan alam dan aktivitas manusia. Ini adalah sumber daya yang dinamis — pergerakannya, baik sebagai air permukaan maupun air tanah, dan di atmosfer, menciptakan masalah pengelolaan yang sangat luas. Melalui informasi dalam konteks spasial kita dapat menganalisis dan mengelola sumber daya air kita dengan lebih baik.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:

1. Badan air alami

2. Persediaan
3. Banjir
4. Pola yang digunakan
5. Kebutuhan rekreasi
6. Iklim
7. Daerah aliran sungai
8. Ketinggian
9. Lokasi industri
10. Lokasi pemukiman
11. dapat mengarah pada informasi tentang
12. Dataran banjir
13. Ketersediaan air bersih
14. Irigasi
15. Polusi (potensial dan yang ada)

13.3.7 Sumber daya alam

Sumber daya alam terbatas dan diperlukan untuk kelangsungan hidup manusia dan pemeliharaan kualitas hidup. Beberapa sumber daya alam dapat diperbarui dengan pengelolaan yang tepat, sementara yang lainnya dapat habis. Persediaan informasi yang berkelanjutan diperlukan untuk evaluasi yang tepat tentang bagaimana kita harus menggunakan sumber daya kita dengan bijaksana.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:

1. Hutan
2. Sumber mineral
3. Sumber energi
4. Sungai, aliran, danau
5. Satwa liar dan ikan
6. Pertanian
7. Pelabuhan
8. Geologi
9. dapat mengarah pada informasi untuk memfasilitasi
10. Manajemen kayu
11. Pelestarian lahan pertanian
12. Konservasi sumber energi
13. Pengelolaan satwa liar
14. Analisis pasar
15. Alokasi sumber daya
16. Ekstraksi sumber daya
17. Kebijakan sumber daya
18. Daur ulang
19. Pemanfaatan sumber daya

13.3.8 Pertanian

Produksi pangan telah mendapat perhatian yang semakin tinggi seiring dengan pertumbuhan populasi dunia dan menyusutnya lahan produktif pertanian. Permintaan data juga akan meningkat saat kita mencari solusi untuk masalah yang berkembang ini.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:

1. Konversi lahan
2. Tanah
3. Geologi
4. Produktivitas tanaman
5. Iklim
6. Hidrologi, pasokan air
7. Irigasi
8. Erosi
9. Penyakit tanaman, hawar
10. Pengendalian serangga
11. Pestisida
12. Pupuk
13. dapat mengarah pada informasi untuk memfasilitasi
14. Manajemen tanaman
15. Perlindungan lahan pertanian
16. Praktik konservasi
17. Kebijakan dan pengelolaan lahan pertanian yang prima
18. Pertanian berkelanjutan

13.4 Pencegahan Kriminalitas; Penegakan Hukum; Peradilan Pidana

Sistem Peradilan Pidana banyak diaplikasikan untuk data geografis: yaitu untuk membantu sistem dalam memprediksi kemungkinan titik kegiatan kriminal dan untuk memungkinkan alokasi sumber daya yang efisien melalui identifikasi lokasi secara sistematis yang menjamin peningkatan tenaga kerja, analisis, atau alokasi sumber daya. Meskipun data spasial dikumpulkan secara rutin oleh lembaga penegak hukum, sering kali dilakukan dengan cara yang tidak seragam sehingga tidak memiliki presisi yang berguna secara taktis atau tidak memungkinkan dilakukannya perbandingan informasi lokasi dari kejadian ke kejadian.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:

1. Di mana (secara khusus) kejahatan terjadi
2. Di mana properti yang dicuri ditemukan kembali
3. Dimana penangkapan dilakukan
4. Dimana lokasi bisnis berisiko tinggi
5. Dimana tahanan tinggal dan disekolahkan
6. dapat menghasilkan informasi untuk merencanakan
    a. Pemilihan situs atau tempat untuk pemfokusan target
    b. Prosedur penerapan peringkat risiko untuk lokasi tertentu
    c. Alokasi patroli taktis dan strategis
    d. Pemilihan lokasi tertentu untuk analisis pencegahan kejahatan terperinci
    e. Pengenalan pola kejahatan
    f. Pemilihan wilayah atau sekolah untuk perhatian pencegahan kenakalan

13.4.1 Keamanan Dalam Negeri dan Pertahanan Sipil

Badan-badan Keamanan Dalam Negeri dan Pertahanan Sipil telah dibentuk untuk menanggapi bencana alam atau bencana yang disebabkan oleh manusia atau yang disebabkan oleh perang atau terorisme. Karena itu, kami memerlukan rencana bantuan jangka pendek dan jangka panjang untuk komunitas di seluruh negeri.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:

1. Distribusi populasi
2. Sumber makanan
3. Aktivitas geologi (gempa bumi)
4. Angkutan
5. Instalasi militer
6. Fasilitas umum
7. Fasilitas medis
8. Peralatan penyelamat
9. Sel teroris
10. dapat mengarah pada informasi untuk memfasilitasi
    a. Rencana bantuan bencana alternatif
    b. Kebutuhan untuk menimbun makanan dan perbekalan kesehatan
    c. Rencana evakuasi
    d. Penetapan wilayah bantuan bencana yang tepat

13.4.2 Komunikasi

Komunikasi merepresentasikan cara manusia agar tetap berhubungan dengan kejadian di sekitar mereka dan bagaimana mereka mengirimkan informasi. Persyaratan fisik sistem komunikasi berdampak besar pada lingkungan alam. Untuk menjaga keselarasan antara keduanya, informasi tentang data geografis harus disimpan di hadapan para pengambil keputusan.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) yang terkait dengan berikut ini:

1. Stasiun komunikasi dan antena
2. Populasi
3. Medan
4. Sumber daya
5. Peristiwa saat ini
6. Informasi teknis
7. dapat mengarah pada informasi untuk memfasilitasi
    a. Penempatan jalur transmisi
    b. Lokasi peralatan seluler
    c. Pendidikan

13.4.3 Transportasi

Pergerakan orang dan material untuk alasan ekonomi, sosial, dan rekreasi memerlukan pertimbangan data spasial. Analisis diperlukan pada berbagai tingkatan mulai dari transportasi lokal skala kecil hingga skala nasional dan global.

Penyimpanan data geografis (dan lainnya) mengenai:

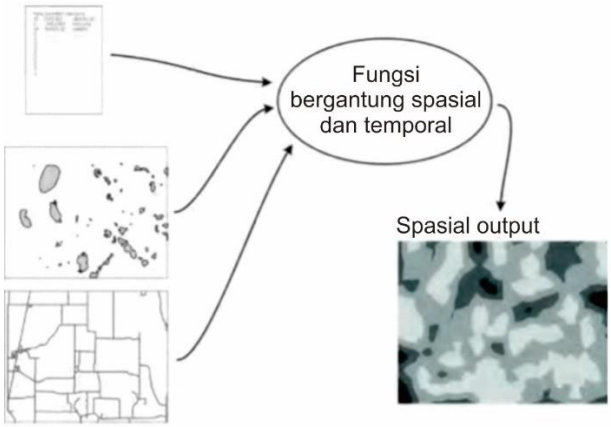
1. Jalan raya, jalan, persimpangan jalan, dan sebagainya
2. Angkutan cepat
3. Bandara
4. Pelabuhan laut
5. Rel kereta api
6. Asal dan tujuan wisatawan
7. Pergeseran populasi
8. Pusat ketenagakerjaan
9. Lalu lintas komersial
10. dapat mengarah pada informasi untuk memfasilitasi
    a. Rencana transportasi alternatif
    b. Analisis lokasi
    c. Angkutan massal
    d. Konservasi energi

Jadi, mengingat aplikasi dan manfaat yang disinggung di atas, perbandingan GIS dengan gajah tidaklah terlalu dibuat-buat. Diharapkan para pengambil keputusan tidak buta seperti enam orang yang menyelidiki gajah tersebut. Dan bahwa para pembaca buku teks ini akan berusaha untuk memperluas penggunaan GIS untuk kemajuan masyarakat.

Gagasan bahwa data mendahului informasi mungkin terjadi dalam urutan konteks berikut: Keberadaan, Kesadaran, Pengamatan, Pengukuran, Data, Informasi, Pemahaman Pengetahuan, Kebijaksanaan.

13.4.4 Model Ruang-Temporal

Model spatio-temporal telah dikembangkan dan diterapkan di sejumlah disiplin ilmu. Ini adalah bidang penelitian yang aktif, karena ada banyak bidang studi dan manajemen yang memerlukan analisis dan prediksi fenomena yang bervariasi secara spasial dan waktu. Kami akan membahas secara singkat beberapa karakteristik dasar model spatio-temporal. Kami kemudian akan menjelaskan perbedaan mereka dari model lain, membahas beberapa pendekatan analisis dasar, dan menjelaskan dua contoh model spatio-temporal.



Gambar 13.18 : Model spatio-temporal menggabungkan data spasial dan aspatial dengan fungsi varian waktu untuk menghasilkan output spasial.

Model spasial-temporal menggunakan input spasial eksplisit untuk menghitung atau memprediksi output spasial eksplisit (Gambar 13-18). Aturan, fungsi, atau beberapa proses lain diterapkan menggunakan data spasial dan seringkali nonspasial. Variabel input seperti ketinggian, tipe vegetasi, kepadatan populasi manusia, atau curah hujan dapat digunakan sebagai input untuk satu atau lebih rumus matematis. Rumus ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai untuk satu atau lebih lokasi spasial. Nilai sering disimpan dalam format data spasial, seperti layer dalam GIS.

Model spatio-temporal melibatkan setidaknya representasi tiga dimensi dari satu atau lebih atribut kunci - variasi dalam ruang planar (xy) dan melalui waktu. Dimensi keempat dapat ditambahkan jika arah vertikal (z) juga dimodelkan. Kami secara sewenang-wenang memperlakukan analisis jaringan variabel spasial secara terpisah, karena jaringan dibatasi ke subset ruang dua dimensi. Model spatiotemporal juga dapat diklasifikasikan oleh sejumlah kriteria lain: apakah mereka memperlakukan bidang kontinu atau objek diskontinu, jika mereka didasarkan pada proses atau bergantung pada model yang benar-benar fit, dan apakah mereka stokastik atau deterministik. Kombinasi karakteristik model ini mengarah pada beragam jenis model spatiotemporal.

Model fenomena kontinu memprediksi nilai-nilai yang bervariasi dengan mulus melintasi waktu atau ruang. Suhu udara, curah hujan, kelembaban tanah, dan polutan atmosfer adalah contoh variabel kontinu yang diprediksi menggunakan model spatio-temporal. Kelembaban tanah bulan ini mungkin bergantung pada kelembaban tanah bulan lalu dan suhu, curah hujan, dan lama penyinaran matahari selama periode tersebut. Semua faktor ini dapat dimasukkan dalam layer data spasial, dan kelembaban tanah diprediksi untuk satu set poin.

Model fenomena diskrit memprediksi karakteristik spasial atau atribut untuk fitur diskontinu. Batas untuk tipe vegetasi adalah contoh fitur yang sering dianggap diskrit. Kami menggunakan garis untuk mengidentifikasi pemisahan antara dua jenis, misalnya, antara padang rumput dan hutan. Model spasial dapat mempertimbangkan posisi hutan dan padang rumput saat ini serta jenis tanah, pencegahan kebakaran, dan data iklim untuk memprediksi perambahan hutan di lokasi padang rumput. Batas antara hutan baru dan padang rumput selalu berbeda, meskipun posisinya berubah seiring waktu.

Model dianggap berdasarkan proses jika cara kerjanya dalam beberapa cara mewakili pemahaman teoretis atau mekanistik dari proses yang mendasari perubahan yang diamati, dan model adalah model yang benar-benar sesuai ketika tidak. Kita dapat memprediksi jumlah air yang mengalir di sungai dengan representasi spasial rinci dari siklus hidrologi. Banyak proses mungkin secara eksplisit diwakili oleh rumus atau subrutin dalam model spasial. Misalnya, lokasi dan intensitas curah hujan dapat dimodelkan melalui waktu untuk setiap sel raster di wilayah studi. Kami kemudian dapat mengikuti air hujan saat meresap ke dalam tanah dan bergabung dengan sistem aliran melalui aliran darat, aliran bawah permukaan, dan rute melalui saluran sungai. Perhitungan untuk proses ini mungkin didasarkan pada kemiringan, topografi, dan karakteristik saluran. Proses-proses ini terikat bersama dalam ruang. Perhitungan dilakukan pada setiap titik di lanskap; perhitungan ini menambah atau mengurangi aliran air atau kondisi lain di dekat, lokasi lereng.

Curah hujan mungkin dimodelkan secara berbeda menggunakan pendekatan statistik yang murni fit. Model yang benar-benar sesuai mungkin hanya mengukur curah hujan pada jam sebelumnya dan rata-rata curah hujan untuk minggu sebelumnya dan bulan sebelumnya, dan

memprediksi aliran sungai pada suatu titik. Proses seperti evaporasi atau aliran bawah permukaan tidak direpresentasikan secara eksplisit, dan output mungkin merupakan fungsi statistik dari input. Model mungkin lebih akurat daripada pendekatan berbasis proses, di mana aliran keluar yang diprediksi pada titik mana pun dalam aliran mungkin lebih dekat dengan nilai terukur daripada yang berasal dari model berbasis proses. Sebaliknya, outputnya mungkin lebih buruk, karena pengukurannya mungkin lebih jauh dari prediksi. Pemodel proses berpendapat bahwa dengan memasukkan struktur dan fungsi sistem ke dalam model proses, kita dapat memprediksi lebih baik dalam kondisi baru, misalnya, untuk kekeringan ekstrem atau kejadian curah hujan yang belum pernah dialami sebelumnya. Mereka juga berpendapat bahwa model proses membantu dalam pemahaman kita tentang sistem dan dalam menghasilkan hipotesis baru tentang fungsi sistem.

Selain kontinu atau diskrit dan proses atau fit, model mungkin stokastik atau deterministik. Model deterministik memberikan output yang sama setiap kali diberikan input yang sama persis. Jika kita memasukkan satu set variabel ke dalam model tanpa memodifikasi model, itu akan selalu menghasilkan hasil yang persis sama. Model stokastik tidak akan. Model stokastik sering memiliki pembangkitan acak atau beberapa prosedur pembangkitan variabilitas lain yang mengubah hasil model dari run ke run, bahkan ketika menggunakan input yang sama persis.

Proses penyebaran penyakit adalah contoh yang baik dari sebuah fenomena yang mungkin dimodelkan dengan proses stokastik. Penyakit dapat terjadi di satu set lokasi, dan dapat menyebar melalui atmosfer, menyebar melalui air, atau dibawa oleh hewan atau manusia untuk memulai pusat penyakit baru. Seorang dokter mungkin memodelkan infeksi dan pertumbuhan penyakit secara stokastik. Nomor acak mungkin dihasilkan, dan pusat baru dimulai di lokasi berdasarkan nomor ini. Dokter mungkin menggunakan proses acak total atau sebagian lainnya untuk mengontrol bagaimana pusat infeksi baru tumbuh atau "mati" dalam model spasial. Dengan demikian, peta lokasi penyakit setelah model run yang berbeda mungkin berbeda, meskipun run dimulai dengan kondisi input yang identik.

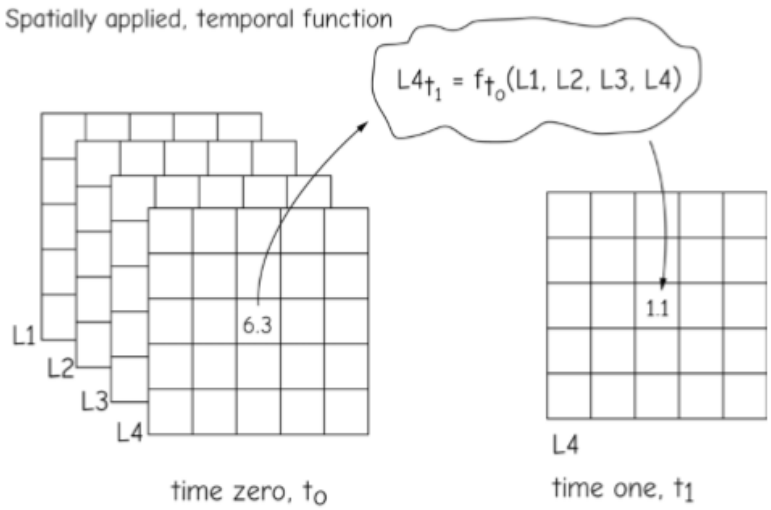
Dengan sebagian besar model spasial, lokasi target output model biasanya, tetapi tidak selalu, lokasi input. Misalnya, model demografi dapat menggunakan kombinasi populasi saat ini dalam saluran sensus, ketersediaan dan biaya perumahan, peluang dan lokasi kerja, statistik migrasi umum, dan usia dan status perkawinan mereka yang saat ini berada dalam saluran sensus untuk memprediksi populasi masa depan untuk wilayah tersebut. saluran sensus. Model ini memiliki target lokasi yaitu jalur sensus yang sama dengan lokasi sebagian besar data masukan.

Sebaliknya, lokasi target output model mungkin berbeda dari lokasi masukan. Pertimbangkan model perilaku api. Model ini dapat memprediksi lokasi kebakaran berdasarkan lokasi kebakaran saat ini, kecepatan angin, topografi (kebakaran lebih cepat terjadi di lereng atas daripada di bawah), dan jenis dan kondisi vegetasi. Model kebakaran sering menggabungkan mekanisme untuk memprediksi penyebaran api di luar bagian depan api yang terbakar saat ini. Bara sering diangkat di atas api oleh udara panas yang naik ke atas. Bara api ini dapat ditiup jauh sebelum bagian depan api, memulai titik api pada jarak tertentu dari api utama. Dalam hal ini, lokasi target untuk perhitungan dalam model spasial tidak sama dengan lokasi input.

13.4.5 Model Berbasis Sel

Model spasial-temporal sering diimplementasikan sebagai model berbasis sel. Model berbasis sel memanggil satu set fungsi dan logika, didorong oleh nilai sel, untuk memperbarui ini atau nilai sel lainnya sepanjang waktu. Nilai input pada waktu mulai, untuk, dapat diturunkan dari beberapa layer. Nilai input ini dimasukkan ke dalam fungsi yang menghitung nilai baru untuk layer target atau layer pada langkah waktu berikutnya, t1. Proses ini kemudian diulang, dan nilai-nilai di layer target berkembang seiring waktu (Gambar 13-19).

Contoh erosi sebelumnya karena limpasan permukaan memberikan contoh yang baik tentang bagaimana pemodelan berbasis sel dapat digunakan, melampaui analisis statis USLE. Erosi adalah perpindahan dan pergerakan tanah dari suatu permukaan. Meskipun ada banyak kekuatan erosi, air adalah penyebab utama erosi di sebagian besar dunia. Besarnya erosi tanah tergantung pada banyak faktor, antara lain curah hujan, seberapa cepat air hujan diserap oleh tanah (permeabilitas), jenis tanah, kemiringan lereng di lokasi, dan seberapa banyak air yang mengalir dari sel-sel yang menanjak. Beberapa dari sifat-sifat ini tidak berubah terhadap waktu, misalnya, kemiringan atau jenis tanah, sementara sifat-sifat lainnya berubah, seperti tingkat curah hujan dan air yang mengalir ke bawah. Semua faktor ini dapat diberikan sebagai layer berbasis sel, beberapa yang berubah seiring waktu, dan beberapa yang statis. Layer ini kemudian dimasukkan dalam rumus untuk menghitung erosi di setiap lokasi sel untuk grid. Curah hujan dan laju aliran dapat diperbarui pada setiap langkah, dan erosi yang dihasilkan dihitung dan ditempatkan di layer output, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-19.



Gambar 13.19 : Model berbasis sel yang bervariasi waktu menggunakan satu hingga beberapa nilai sel input dari waktu mulai, hingga, dan memperbarui nilai sel untuk beberapa lapisan pada waktu t1. Proses ini diulang untuk jangka waktu tertentu atau sampai beberapa kondisi output tertentu tercapai.

Cellular automata (CA) adalah salah satu bentuk paling sederhana dari model berbasis sel. Automata seluler beroperasi pada layer berbasis sel tunggal, menggunakan aturan sederhana untuk menurunkan status berikutnya dari status saat ini. Sel biasanya memiliki dua keadaan, hidup dan mati atau gelap dan terang. Sel hidup atau mati pada langkah berikutnya tergantung pada susunan sel hidup/mati di sekitar sel target. Nilai sel pada setiap langkah waktu sepenuhnya menentukan pola sel pada langkah waktu berikutnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-20. Empat aturan transisi sederhana yang ditunjukkan di bagian atas gambar

mengatur penetapan sel dari satu langkah waktu ke langkah berikutnya. Dimulai dengan satu sel diaktifkan dalam keadaan hitam di ke, sel dihidupkan dan dimatikan saat layer bertransisi ke langkah waktu t1 hingga t3.

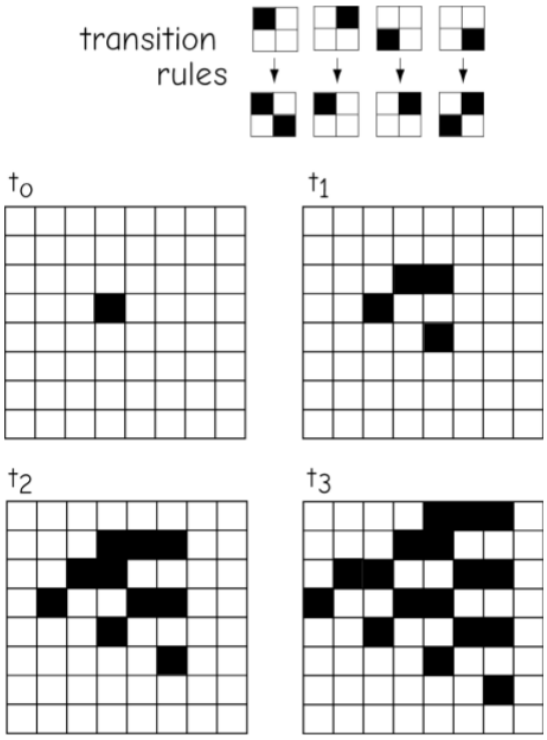
Meskipun mudah dibuat dan diimplementasikan, cellular automata dapat menghasilkan pola dan perilaku yang cukup canggih. Struktur seperti karang yang berbelit-belit dapat berevolusi dari awal yang sederhana. Pola dapat tumbuh dan berkontraksi, tampak "mengkonsumsi" pola lain, atau bergerak melintasi bidang sel.

Automata seluler sampai saat ini jarang diterapkan untuk pemodelan di luar lingkungan akademik dan penelitian. Sementara CA adalah alat pembelajaran yang berguna dan mampu memberikan beberapa wawasan tentang bagaimana sistem sederhana dapat menunjukkan pola yang kompleks, ada beberapa masalah di mana aturan transisi ruang sederhana dapat ditentukan dengan jelas. Pekerjaan terbaru telah memajukan penerapan automata seluler, khususnya dalam pemodelan pembangunan perkotaan dan penggunaan lahan.

Sebagian besar model berbasis sel dinamis sementara lebih kompleks daripada automata seluler. Model-model ini merepresentasikan level dari suatu variabel atau kategori dengan angka yang dapat memiliki lebih dari dua nilai yang mungkin, dan mereka menggunakan pendekatan berbasis fungsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-19.

13.4.6 Pemodelan Berbasis Agen

Model berbasis agen adalah tipe ketiga dari model spatio-temporal, sering diterapkan di lingkungan berbasis sel. Juga dikenal sebagai model berbasis individu, sistem ini berisi "agen" yang dapat bergerak melintasi lanskap digital. Lanskap sering digambarkan oleh satu set variabel yang disimpan dalam sel. Agen dapat berkisar di grid ini, bereaksi terhadap lingkungan atau agen lain sesuai dengan satu set kecil aturan yang telah ditentukan sebelumnya. Tingkah laku kompleks dapat diperlihatkan dari seperangkat aturan yang relatif sederhana.



Gambar 13.20 : Automata seluler menggunakan aturan transisi sederhana untuk menentukan evolusi langkah waktu nilai sel.

Model berbasis agen paling awal dirancang sebagai demonstrasi, dan membahas perilaku aksi kelompok yang tampaknya diatur pada hewan, seperti gerakan roda kawanan burung atau gerombolan ikan. Karya ini dijelaskan dengan baik dalam makalah oleh Craig Reynolds (1987), tercantum dalam referensi di akhir bab ini. Tindakan hewan ini dapat disimulasikan agak dekat menggunakan tiga aturan perilaku individu, menghasilkan koordinasi yang jelas dan perilaku agregat kompleks dari satu set kecil instruksi. Setiap agen, yang disebut “boid,” diatur oleh keinginan untuk menuju ke arah yang sama dengan tetangganya, bergerak menuju pusat tetangganya ketika mereka “terlalu jauh” darinya, dan menjauh dari tetangga individu ketika adalah "terlalu dekat." Kawanan buatan "dilepaskan" di dunia maya, dan para agen mulai bergerak bersama, berputar dengan "pemimpin" yang selalu berubah saat kawanan bergerak di sekitar lingkungannya. Program awal ini membentuk dasar dari banyak animasi komputer dari gerakan kelompok yang ditemukan di film dan video game masa kini.

Model berbasis agen saat ini merupakan bidang penelitian dan aplikasi yang aktif, terutama dalam analisis pejalan kaki dan transportasi bermotor, dan dalam biologi konservasi. Analisis ini dapat digunakan pada gilirannya untuk membantu merancang kota, jalan, atau infrastruktur lain yang lebih baik. Misalnya, jaringan trotoar dan jalur melalui fasilitas baru dapat direpresentasikan dalam dataset raster. Agen individu dapat dibuat untuk mewakili pejalan kaki, dan diprogram dengan serangkaian perilaku sederhana, misalnya, kedekatan minimum dengan pejalan kaki lain, berhenti di pintu keluar/masuk atau saat mengikuti pejalan kaki lain. Kelompok agen dapat ditempatkan di lingkungan, dan diizinkan untuk melintasi sesuai dengan perilaku membimbing mereka. Batas kapasitas, kemacetan, dan kecepatan atau aliran dapat dipantau, dan efek dari perubahan desain dipertimbangkan.

Meskipun mungkin ada banyak kerangka dan metode pemodelan seperti halnya model, kami telah mencoba untuk menggambarkan beberapa pendekatan yang paling umum diterapkan. Kami sekarang akan menjelaskan dua contoh pemodelan berbasis spasial.

Contoh 1: Model Hidrologi Berbasis Proses

Air mengalir ke bawah. Pengetahuan sederhana ini mungkin cukup sampai manusia mulai membangun rumah dan jalan, dan populasi tumbuh mendominasi sebagian besar permukaan bumi. Kelangkaan lahan telah menyebabkan manusia membangun di daerah dataran rendah, dan pertanian, drainase lahan basah, dan pembangunan hulu semuanya berkontribusi pada banjir yang lebih sering dan parah.

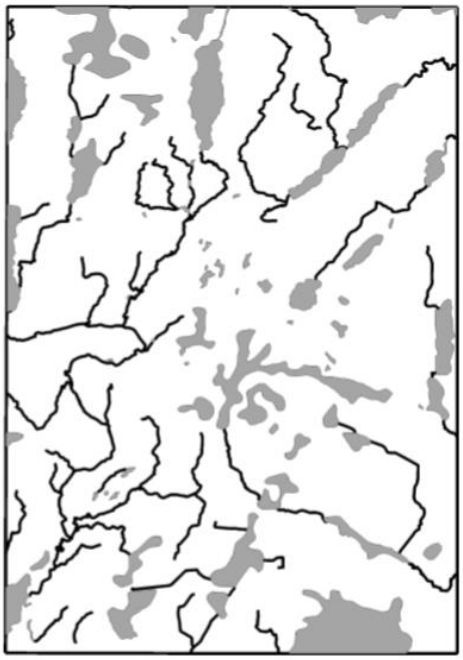
Manusia telah meningkatkan pemahaman mereka tentang pergerakan air sejak awal peradaban, tetapi kebutuhan akan model aliran air yang kuantitatif dan eksplisit secara spasial telah meningkat secara substansial selama beberapa dekade terakhir. Model air diperlukan karena permintaan sumber daya air melebihi pasokan alam di banyak bagian dunia. Model air juga diperlukan karena tekanan populasi telah mendorong pertanian, kota, dan pembangunan manusia lainnya ke daerah rawan banjir; perkembangan yang sama ini telah meningkatkan kecepatan dan jumlah limpasan hujan, sehingga meningkatkan frekuensi dan keparahan banjir. Faktor-faktor ini memacu pengembangan model hidrologi spatio-temporal. Model tersebut sering digunakan untuk memperkirakan ketinggian air sungai, sehingga kita dapat mengelola

sumber daya air dengan lebih baik dan menghindari hilangnya harta benda atau nyawa karena banjir

Banyak model hidrologi spatio-temporal memprediksi fluktuasi temporal dalam kelembaban tanah, tingkat air danau atau sungai, dan debit dalam jaringan hidrologi. Jaringan tersebut biasanya terdiri dari sekumpulan sungai dan aliran sungai yang terhubung, termasuk tanggul seperti danau, kolam, dan waduk (Gambar 13-21). Jaringan ini biasanya memiliki pola percabangan. Saat Anda bergerak ke hulu dari titik pembuangan utama untuk jaringan, aliran menjadi lebih kecil dan membawa lebih sedikit air. Ketinggian air atau debit mungkin penting pada titik-titik tetap dalam jaringan hidrologi, pada titik-titik tetap di darat dekat jaringan, atau di semua titik di lanskap. Jaringan hidrologi sering tertanam dalam DAS, didefinisikan sebagai daerah yang memberikan kontribusi aliran lereng ke jaringan.

Model hidrologi eksplisit spasial hampir secara universal bergantung pada data elevasi digital. DEM digunakan untuk menentukan batas DAS, jalur aliran air, kecepatan gerakan lereng, dan lokasi sungai. Kemiringan, aspek, dan faktor lain yang mempengaruhi sistem hidrologi dapat diturunkan dari DEM. Misalnya, penguapan air permukaan dan transpirasi air tanah bergantung pada jumlah radiasi matahari. Radiasi matahari situs tergantung pada kemiringan dan aspek di setiap titik, dan di daerah pegunungan itu mungkin juga tergantung pada ketinggian di sekitarnya – matahari terbit lebih lambat dan matahari terbenam lebih awal di lokasi lembah, dan lereng yang menghadap ke utara di belahan bumi utara menerima radiasi matahari yang jauh lebih sedikit daripada selatan. menghadapi lereng. Variabel spesifik lokasi yang mewakili kemiringan dan aspek digunakan saat memperkirakan penguapan atau penggunaan air oleh tanaman.

Kemiringan dan aspek sering digunakan untuk mendefinisikan layer data spasial yang penting dalam pemodelan hidrologi – arah aliran. Layer ini menentukan arah aliran air pada titik-titik penting di permukaan. Jika struktur data raster digunakan, arah aliran dihitung untuk setiap sel. Jika struktur data vektor digunakan, arah aliran ditentukan antara elemen vektor yang berdekatan atau terhubung.

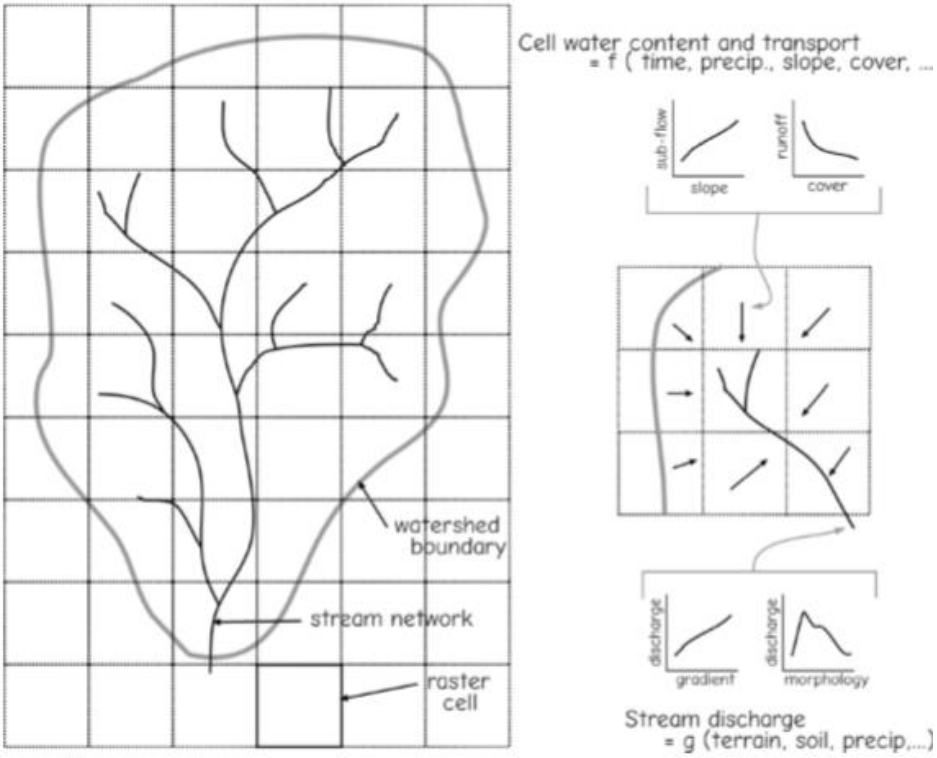


Gambar 13.21 : Contoh jaringan hidrografi Danau dan/atau sungai membentuk jaringan yang saling berhubungan. Air dapat dialirkan dari daerah dataran tinggi ke dan melalui jaringan ini.

Banyak model hidrologi spatio-temporal mengadopsi struktur data raster. Struktur data raster mempertahankan variasi elevasi permukaan yang mendorong pergerakan air. Kumpulan data raster memiliki struktur yang relatif sederhana sehingga mudah diintegrasikan ke dalam model hidrologi. Hubungan antara sel yang berdekatan secara eksplisit direkam dalam kumpulan data raster, sehingga aliran antar sel mudah direpresentasikan.

Kebanyakan model hidrologi berbasis raster mewakili aliran air melalui setiap sel grid (Gambar 13-22). Air jatuh pada setiap sel melalui presipitasi. Curah hujan baik meresap ke dalam tanah atau mengalir melintasi permukaan, tergantung pada permeabilitas permukaan pada sel. Misalnya, sedikit air yang meresap ke sebagian besar permukaan buatan manusia, seperti tempat parkir atau gedung. Situs-situs ini memiliki permeabilitas rendah, sehingga sebagian besar curah hujan menjadi aliran permukaan. Sebaliknya, hampir semua presipitasi menyusup ke sebagian besar tanah hutan.

Aliran air di lereng bawah juga dihitung dalam model, tergantung pada sejumlah faktor di setiap sel. Kemiringan dan arah aliran menentukan laju aliran air menuruni bukit. Aliran downslope akhirnya mencapai jaringan hidrologi dan disalurkan melalui jaringan ke outlet. Fungsi matematika yang menggambarkan curah hujan, aliran, dan debit spesifik sel dapat digabungkan untuk memprediksi kuantitas aliran dan ketinggian air pada titik-titik di DAS dan melalui jaringan.



Gambar 13.22: Hidrologi jaringan aliran sungai dan DAS dapat dimodelkan dalam lingkungan raster. Karakteristik sel untuk DAS dimodelkan, dan akumulasi dan aliran air didorong melalui sistem. Air tanah, ketinggian sungai, dan debit sungai bergantung pada fungsi ruang dan waktu.

Model hidrologi spatio-temporal seringkali membutuhkan pengembangan data yang substansial. Ketinggian, permeabilitas permukaan dan bawah permukaan, vegetasi, dan lokasi jaringan sungai harus dikembangkan sebelum penerapan banyak model hidrologi. Data DEM mungkin memerlukan pengeditan ekstra yang substansial karena medan sebagian besar mendorong pergerakan air. Misalnya, sink lokal lebih sering terjadi di DEM daripada di permukaan nyata. Tenggelam dapat terjadi selama pengumpulan data atau selama pemrosesan. Wastafel sangat merepotkan ketika terjadi di bagian bawah area akumulasi yang lebih besar. Air yang dimodelkan dapat mengalir ke bak cuci tetapi mungkin tidak mengalir keluar, tergantung pada bagaimana akumulasi air dimodelkan, sementara di permukaan bumi yang sebenarnya air dapat mengalir bebas ke bawah. Lonjakan lokal dalam model dapat mendorong air secara tidak benar ke sel di sekitarnya, meskipun biasanya menyebabkan lebih sedikit masalah daripada tenggelam. Sink dan paku harus dihilangkan sebelum penerapan beberapa model hidrologi

Contoh 2: LANDIS, Model Stokastik Perubahan Hutan

Banyak fenomena manusia atau alam dianalisis melalui model stokastik eksplisit spasial. Penyebaran penyakit, perkembangan masyarakat masa lalu, pergerakan hewan, penyebaran api, dan sejumlah fenomena spasial penting lainnya telah dimodelkan. Semua fenomena ini memiliki elemen acak yang secara substansial mempengaruhi perilaku mereka. Peristiwa yang terlalu kabur atau rumit untuk diprediksi dapat menyebabkan perubahan besar dalam aksi atau fungsi sistem. Misalnya, kecepatan angin atau kekeringan pada hari tertentu secara dramatis mempengaruhi penyebaran api, namun kecepatan angin sangat sulit diprediksi. Model stokastik yang eksplisit secara spasial memungkinkan kita untuk menganalisis kepentingan relatif dari input komponen dan proses serta sifat dan variabilitas respons sistem. Apakah variasi stokastik dalam angin, jumlah bahan bakar, atau jenis bahan bakar yang paling bertanggung jawab atas sifat variabel penyebaran api? Kita akan membahas satu model stokastik spasial—LANDIS—yang menggabungkan teknik yang digunakan dalam berbagai model.

Vegetasi hutan berubah seiring waktu. Perubahan dapat disebabkan oleh penuaan alami dan kematian sekelompok pohon, penggantian oleh spesies lain, atau karena gangguan berkala seperti kebakaran, angin ribut, penebangan, serangga, atau wabah penyakit. Karena pohon adalah organisme yang berumur panjang, komposisi dan struktur hutan sering berubah pada skala temporal yang melebihi rentang hidup manusia normal. Tindakan manusia hari ini secara substansial dapat mengubah lintasan perubahan di masa depan. Kita sering perlu menganalisis bagaimana tindakan masa lalu menyebabkan kondisi hutan saat ini, dan bagaimana tindakan saat ini akan mengubah kondisi masa depan.

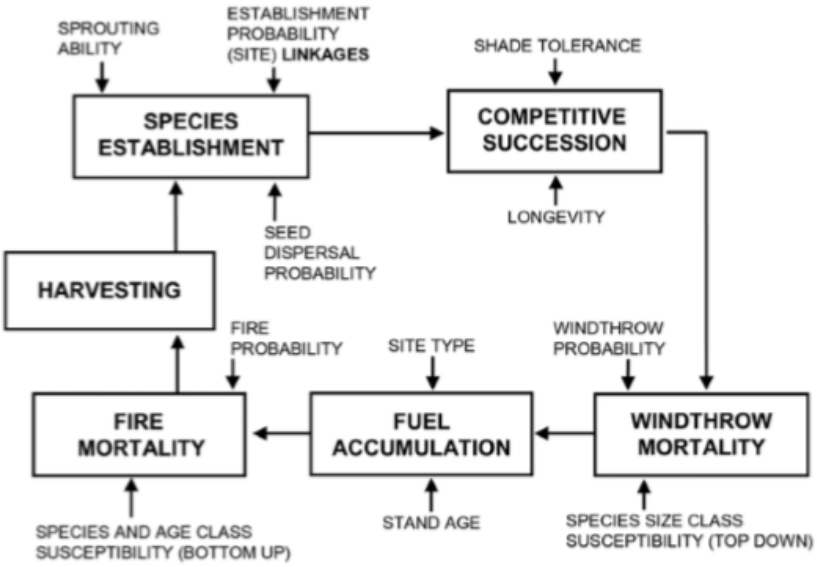
Gangguan dan perubahan hutan merupakan fenomena spasial yang penting karena berbagai alasan. Manusia tertarik untuk memproduksi kayu dan serat, melestarikan spesies langka, melindungi persediaan air bersih dan daerah pemijahan ikan, melindungi kehidupan dan harta benda dari kebakaran hutan, dan menikmati rekreasi berbasis hutan.

Perubahan hutan pada dasarnya merupakan fenomena spasial. Kebakaran, penyakit, dan gangguan lainnya melintasi ruang angkasa. Distribusi hutan saat ini sangat mempengaruhi lokasi dan komposisi spesies hutan di masa depan. Benih menyebar melalui ruang, dibantu oleh angin dan air atau dibawa oleh organisme. Karakteristik fisik dan biotik yang sangat menentukan kelangsungan hidup benih dan kecambah serta pertumbuhan hutan selanjutnya

bervariasi dalam ruang. Beberapa tanaman lebih baik beradaptasi untuk tumbuh di bawah hutan yang ada, sementara yang lain dibantu oleh gangguan yang membuka kanopi. Beberapa spesies mengubah kondisi tanah atau tumbuhan bawah dengan cara yang mencegah spesies lain tumbuh di bawahnya. Suksesi tanaman, penggantian satu kelompok tanaman atau spesies oleh yang lain sepanjang waktu, secara substansial dipengaruhi oleh distribusi dan struktur hutan saat ini. Tidak mengherankan bahwa banyak model perubahan hutan berbasis proses memasukkan data spasial.

Hutan sangat heterogen dalam ruang, dan ini memperumit pemahaman dan prediksi kita tentang perubahan hutan. Spesies pohon, ukuran, umur, tanah, ketersediaan air, dan faktor-faktor lain berubah secara substansial dalam jarak yang sangat pendek. Setiap tegakan hutan berbeda, dan kami berjuang untuk mewakili perbedaan ini. Mengingat skala waktu yang lama, skala spasial yang luas, dan variabilitas spasial yang melekat pada hutan, banyak organisasi telah mengembangkan model berdasarkan data spasial, model yang dalam beberapa cara terintegrasi ke dalam GIS.

LANDIS (Gangguan Lanskap) adalah contoh model dinamika hutan berbasis proses yang eksplisit secara spasial. LANDIS telah dikembangkan oleh Dr. David Mladenoff dan rekan-rekannya dan telah diterapkan pada bioma hutan di seluruh dunia. LANDIS menggabungkan gangguan alam dan manusia dengan model penyebaran benih, pembentukan tanaman, dan suksesi melalui waktu untuk memprediksi komposisi hutan pada skala spasial yang luas dan untuk skala temporal yang panjang. LANDIS terkenal karena area luas yang dapat ditangani pada resolusi yang relatif tinggi, dan skala temporal yang panjang. LANDIS telah digunakan untuk memodelkan dinamika hutan pada resolusi 30 m, lebih dari puluhan ribu hektar, dan selama lima abad.



Gambar 12.23 Proses utama diwakili dalam LANDIS, model suksesi hutan spatio-temporal. (milik D. Mladenoff).

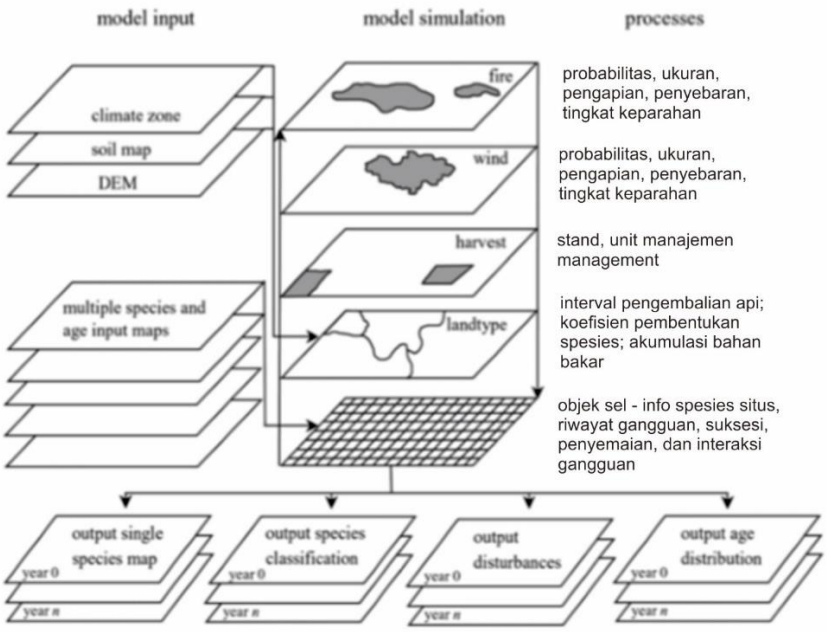
LANDIS mengintegrasikan informasi tentang gangguan dan suksesi hutan untuk memprediksi perubahan komposisi hutan (Gambar 13.23). Suksesi adalah pergantian spesies melalui waktu. Suksesi biasa terjadi di hutan, misalnya, ketika spesies pohon yang tumbuh cepat dan membutuhkan cahaya menjajah lokasi yang terganggu, dan pada gilirannya digantikan oleh

spesies yang lebih tahan naungan dan tumbuh lebih lambat. Spesies toleran naungan ini dapat menggantikan diri sendiri karena benih mereka berkecambah dan bibit bertahan dan tumbuh, meskipun lambat, di tempat teduh yang lebat. Celah-celah kecil akibat patahnya cabang atau kematian satu pohon memungkinkan sedikit cahaya untuk mencapai bibit yang tahan naungan ini, yang memungkinkan mereka akhirnya mencapai kanopi atas. Penggantian diri ini dapat menghasilkan tegakan spesies yang sama dan stabil dalam jangka waktu yang lama. Siklus ini dapat terputus karena kebakaran, angin kencang, penebangan, atau peristiwa gangguan lain yang membuka tegakan bagi spesies yang lebih luas. LANDIS mensimulasikan lanskap besar yang heterogen, menggabungkan interaksi spesies pohon dominan, dan mencakup representasi interaksi ekologis yang eksplisit secara spasial. Model telah dioptimalkan untuk mensimulasikan jutaan hektar dalam waktu berjalan yang wajar, kurang dari satu hari di komputer desktop pada saat penulisan ini.

13.4.7 Elemen Desain LANDIS

Desain LANDIS didorong oleh tujuan keseluruhan untuk model, simulasi gangguan hutan dan suksesi melalui waktu. LANDIS juga memenuhi sejumlah persyaratan lainnya. LANDIS siap mengintegrasikan set data satelit dan data spasial lain yang sesuai, dan mensimulasikan proses dasar gangguan, pengembangan tegakan, penyebaran benih, dan suksesi secara spasial eksplisit. Persyaratan ini menyebabkan adopsi sejumlah fitur desain khusus dalam model.

LANDIS adalah model berorientasi objek. Fitur atau proses khusus dienkapsulasi dalam objek, dan proses internal objek diisolasi sebanyak mungkin dari bagian model lainnya. Sebagai contoh, ada objek SPECIE yang merangkum sebagian besar informasi dan proses penting untuk setiap spesies pohon yang termasuk dalam model. Setiap contoh SPECIE memiliki nama, misalnya, "Aspen," dan karakteristik lain seperti umur panjang, toleransi naungan, atau usia hingga dewasa, serta metode untuk kelahiran, kematian, dan tindakan atau karakteristik lainnya. Karena karakteristik dan proses ini dienkapsulasi dalam objek SPECIE, mereka dapat dengan mudah diubah ketika data baru atau pemahaman yang lebih baik tentang proses suksesi hutan tersedia. Banyak model yang menggabungkan desain berorientasi objek ini, karena menyederhanakan perawatan dan modifikasi.

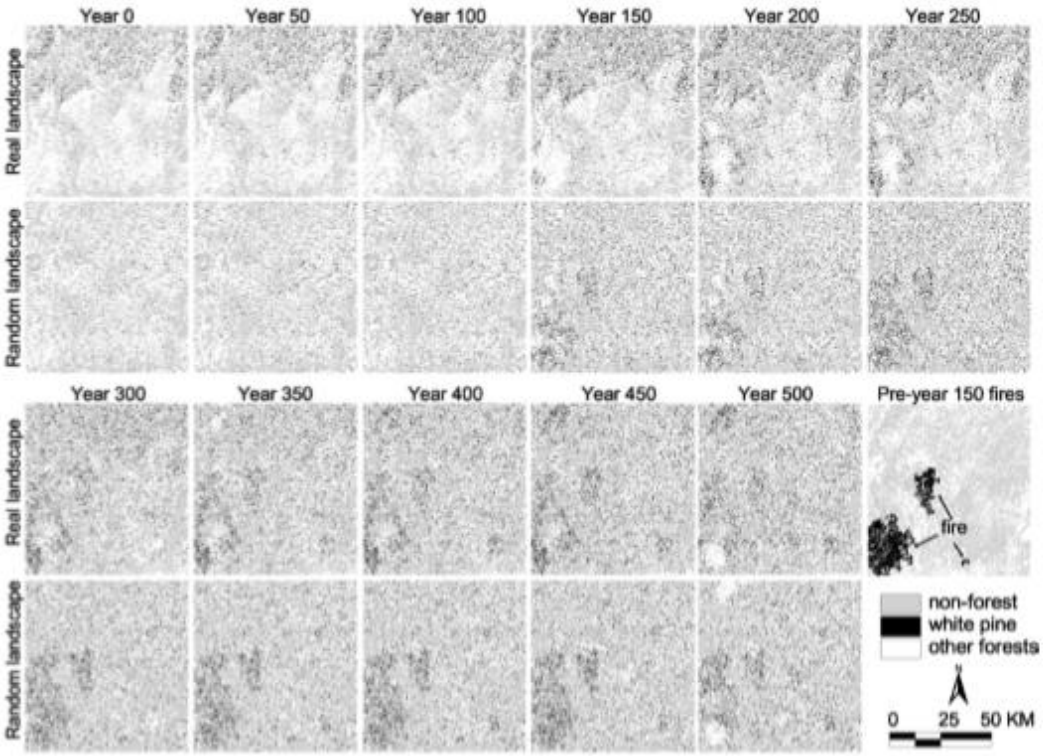


Gambar 13.24 Data spasial dasar dan proses direpresentasikan dalam LANDIS.

LANDIS menggunakan model data raster yang memudahkan masuknya citra satelit rahasia, elevasi, dan kumpulan data lainnya yang mencerminkan variasi spesies lingkungan dan hutan jarak pendek. Interaksi seperti penyebaran benih, kompetisi, dan penyebaran api secara eksplisit dimodelkan untuk setiap spesies yang menempati setiap sel grid.

LANDIS melacak keberadaan kelas usia (kohor) untuk sejumlah spesies di setiap sel dan melalui waktu. Model dimulai dengan kondisi awal: distribusi spesies berdasarkan kelas umur di seluruh lanskap. Kelas usia sepuluh tahun saat ini diwakili. Umur panjang, umur produksi benih awal, jarak penyebaran benih, toleransi naungan, toleransi api, dan kemampuan bertunas dari tunggul atau akar yang rusak dicatat untuk setiap spesies. Di situs yang tidak terganggu, kelompok melewati waktu sampai mereka mencapai umur panjang mereka. Kohort yang lebih tua "mati" dan menghilang dari sel. Kohort yang lebih muda mungkin muncul, tergantung pada ketersediaan benih.

Representasi eksplisit spasial dari sumber benih dan penyebarannya merupakan peningkatan LANDIS dibandingkan banyak model suksesi hutan sebelumnya. Model sebelumnya biasanya mengasumsikan ketersediaan benih konstan atau acak. LANDIS mewakili model eksplisit spasial, di mana lokasi spesifik dari suatu proses mempengaruhi proses itu. Lokasi terganggu dapat ditempati oleh bibit dari sel yang terganggu atau sel di dekatnya, atau dengan bertunas dari pohon di dalam sel sebelum gangguan. Siklus sel melalui proses pembentukan spesies, suksesi, gangguan, dan kematian (Gambar 13-24).



Gambar 13.25 Perubahan distribusi spasial pinus putih, jenis pohon hutan, sepanjang waktu seperti yang diprediksi oleh LANDIS. Grafik ini mencontohkan prediksi fitur yang menarik baik secara spasial maupun temporal, dan mewakili banyak alat analisis yang digunakan atau sedang dikembangkan.

Efek karakteristik situs pada pembentukan spesies dan interaksi juga terwakili di LANDIS. Misalnya, koefisien pembentukan digunakan untuk mewakili interaksi antara karakteristik situs dan pembentukan spesies. Koefisien pembentukan bervariasi menurut jenis lahan.

Tingkat keparahan kebakaran juga bervariasi menurut jenis lahan, demikian juga kelangsungan hidup bibit. Data ketinggian, aspek, tanah, dan data spasial lainnya digunakan sebagai input untuk model spasial. Gangguan kebakaran dan angin disimulasikan berdasarkan catatan sejarah ukuran gangguan, frekuensi, dan tingkat keparahan. Gangguan bervariasi dalam properti ini di seluruh lanskap. Misalnya, gangguan angin mungkin lebih sering dan parah di pegunungan terbuka, dan kebakaran lebih jarang, kurang intens, dan lebih kecil di lahan basah. Gangguan dihasilkan secara stokastik, tetapi variabilitasnya tergantung pada variabel lanskap, misalnya, kebakaran lebih sering terjadi di lokasi dataran tinggi yang kering.

LANDIS telah diterapkan pada sejumlah ilmu kehutanan dan masalah pengelolaan, termasuk dampak perubahan iklim pada komposisi dan produksi hutan, dampak perubahan pola pemanenan pada pola lanskap, dan penilaian hutan regional (Gambar 13-25).

Ratusan model spasial eksplisit lainnya, model dinamis temporal telah dikembangkan, dan lebih banyak lagi saat ini sedang dalam pengembangan. Ketika teknologi pengumpulan data spasial meningkat dan sistem GIS menjadi lebih kuat, model spatio-temporal menjadi alat standar dalam ilmu geografi, perencanaan, dan dalam manajemen sumber daya.

13.4.8 Produk Sistem Informasi Geografis

Mari kita alihkan fokus dari mempelajari GIS ke pemikiran hasil akhir yang diinginkan. Yang saya maksud dengan ini adalah keputusan yang diambil oleh manusia untuk mengubah, menavigasi, atau melindungi lingkungan.

C. P. Snow menulis, “Untuk menjadi baik, di masa mudanya, setidaknya, seorang ilmuwan harus memikirkan satu hal secara mendalam dan obsesif untuk waktu yang lama. Administrator harus memikirkan banyak hal besar, secara luas, dalam interkoneksi mereka, untuk waktu yang singkat.” Hal ini menjadi perhatian para administrator ini bahwa produk GIS sebagian besar diarahkan. Anda, sebagai penghasil informasi, perlu memperhatikan batasan waktu mereka.

13.4.9 Keseluruhan Persyaratan untuk Peralatan

Agar berguna dalam pengambilan keputusan, produk GIS harus memenuhi beberapa kriteria:

1. Pengambil keputusan harus tahu itu tersedia.
2. Mereka harus bisa memahaminya.
3. Mereka harus yakin bahwa itu sepadan dengan waktu mereka untuk menentukan cara menggunakannya.
4. Bantuan untuk membantu pembuat keputusan mengenai produk harus tersedia
5. Produk harus tersedia pada saat dibutuhkan.
6. Harus relevan dengan bidang yang menjadi perhatian
7. Harus memiliki akurasi dan integritas yang cukup; jika produk mengecewakan pembuat keputusan, akan butuh waktu yang lama sebelum mereka bergantung pada informasi tersebut lagi

Klasifikasi Produk GIS

Produk dari GIS dapat diklasifikasikan dalam beberapa cara. Saya akan menggunakan istilah media, format, tujuan, dan audiens.

Media: Saya menggunakan istilah "media" untuk menunjukkan fisik pembawa informasi yang disajikan kepada pembuat keputusan. Media umum adalah kertas, bahan fotografi (yang tidak tembus cahaya seperti foto dan yang tembus cahaya seperti slide dan film), dan perangkat visual elektronik seperti monitor komputer. Layar listrik tiga dimensi yang diaktifkan oleh sinar laser — disebut hologram — mungkin tersedia di masa mendatang, tetapi produk yang lebih konvensional sekarang tersedia yang dapat memenuhi kriteria yang lebih penting. Hampir semua produk GIS yang ada dirancang untuk merespon indera penglihatan dalam beberapa cara.

***Format*:** Meskipun jumlah media visual yang membawa informasi terbatas, jumlah bentuk atau format yang dapat diasumsikan informasi tidak terbatas. Variasi (hampir) tak terbatas dapat diperoleh dengan karakter — 26 huruf alfabet, simbol angka Arab, dan beberapa simbol khusus. Jenis informasi ini disebut berbasis karakter.

Informasi berbasis karakter dapat muncul dalam bentuk teks, tabel, daftar, rumus, dan lain sebagainya. Cara informasi diatur memiliki dampak yang luar biasa pada apakah informasi itu akan berguna atau tidak. Informasi berbasis karakter dapat diproses oleh individu dalam mode serial (seperti pembaca "memproses" baris teks ini) atau dalam mode pencarian — prosedur di mana seseorang memeriksa kelompok karakter yang tidak berhubungan untuk menemukan informasi yang diinginkan. Mencari nomor di direktori telepon menunjukkan penggunaan mode pencarian — prosedur di mana seseorang memeriksa kelompok karakter yang tidak terhubung untuk menemukan informasi yang diinginkan — diikuti, tentu saja, dengan mode serial.

Untuk tujuan membangun model mental, produk terbaik memungkinkan pengguna informasi berbasis karakter dengan cepat memahami dua hal: skema keseluruhan organisasi informasi (diungkapkan oleh daftar isi, materi tentang "cara menggunakan informasi ini," ringkasan eksekutif, dll.) dan subjek informasi itu sendiri (diilustrasikan dengan pendahuluan, judul tabel, daftar parameter yang berkaitan dengan informasi, dll.). Pengembangan produk yang dapat memenuhi kriteria tersebut adalah seni dan ilmu.

Informasi grafis — gambar, foto, lukisan, map, display, grafik, diagram, dan sebagainya — juga serbaguna seperti informasi berbasis karakter.

Secara sederhana, informasi berbasis karakter dibaca, sedangkan informasi grafik dilihat. Keduanya dapat membantu pembuat keputusan membentuk model mental yang lebih lengkap dari suatu masalah, tetapi masing-masing memberikan informasi dengan cara yang berbeda.

Jarang ada informasi yang benar-benar berbasis karakter atau grafik. Kombinasi keduanya adalah yang paling efektif (grafik memiliki judul dan sebutan deskriptif; laporan memiliki diagram dan ilustrasi), meskipun proses "mengawinkan" keduanya tidak selalu mudah, terutama saat menggunakan komputer.

Tujuan: Klasifikasi lain yang mungkin dipertimbangkan selama mendesain produk dari GIS adalah tujuan dari produk atau informasi tersebut. Beberapa tujuan yang mungkin adalah:

- Menginventarisasi
- Menganalisa
- Menjelaskan
- Mendokumentasikan
- Menunjuk
- Mempertahankan
- Mengelola
- Meramal
- Memantau

Desain produk akan lebih efektif jika tujuannya selalu diingat dengan baik. Misalnya, jika tujuan utamanya adalah pemantauan, produk yang paling sesuai mungkin adalah produk yang mencerminkan perubahan dari waktu ke waktu dibanding produk dua dokumen, yang masing-masing menunjukkan situasi pada titik waktu tertentu. Hal ini kedengarannya mendasar, tetapi upaya yang telah dilakukan untuk mencoba membandingkan dua dokumen yang serupa, berdampingan, untuk memastikan perbedaan di antara keduanya sangatlah mengejutkan. GIS memiliki kemampuan untuk menghasilkan "perbedaan" dan kemampuan ini harus dimanfaatkan.

Tujuan lain akan sangat sesuai jika dipenuhi dengan format yang berbeda. Hal penting yang perlu dipertimbangkan, untuk setiap produk, adalah bagaimana produk itu akan digunakan.

Audiens: GIS yang baik akan mampu menghasilkan berbagai jenis produk informasi pada berbagai tingkat detail dan kecanggihan. Klasifikasi tambahan untuk produk ini mungkin adalah audiens yang menjadi tujuan produk tersebut.

Upaya untuk mengembangkan "produk super" harus dihindari. Saat berbagai produk berkembang, ini menjadi godaan yang kuat. Mereka yang bertanggung jawab atas desain dan evolusi sistem dan produk terus menambahkan lebih banyak lonceng dan peluit, yang tentu saja dipahami sepenuhnya oleh para desainer. Tetapi seseorang yang ditugasi membuat keputusan, yang melihat produk untuk pertama kalinya, mungkin menemukan bahwa demonstrasi yang rumit mengganggu pemahamannya tentang — dan penggunaan — informasi.

Salah satu pendekatan yang dirancang untuk menghindari masalah ini adalah pengembangan rangkaian produk informasi — beberapa bentuk informasi asal yang serupa, media, format, dan tujuan. Jenis rangkaian ini mungkin menunjukkan tingkat detail berbeda yang dapat digunakan oleh siapa pun yang menjelajahi semua perspektif suatu masalah. Saat rangkaian produk digunakan, prioritas pertama haruslah pengembangan produk yang sesuai dengan kebutuhan pembuat keputusan. Produk tersebut harus dilengkapi dengan produk lain dari bentuk umum yang sama yang memberikan informasi lebih rinci atau tambahan. Misalnya, jika informasi tentang batas dataran banjir 50 tahun untuk jangkauan sungai diperlukan, produk informasi tidak boleh menunjukkan dataran 20 tahun, dataran 100 tahun, kisaran badan air tahunan normal, atau curah hujan tahunan yang diharapkan, dan sebagainya. Alih-alih, hal itu harus dengan jelas menunjukkan dataran banjir 50 tahun, dengan notasi bahwa informasi yang lebih rinci atau canggih tersedia untuk batas dataran banjir lain dalam format

yang kurang lebih sama. Jika sistem dapat menghasilkan map yang rumit, system itu juga harus memiliki kemampuan untuk menghasilkan map yang tidak terlalu rumit.

13.5.1 Mendokumentasikan Produk

Pengembang produk GIS terkadang begitu terjebak dalam tugas menyediakan produk utama kepada pembuat keputusan sehingga mereka mengabaikan komponen kedua yang lebih penting dari operasi: menyediakan informasi penjelasan, pendokumentasian, dan pengaturan konteks. Ketika informasi berkaitan dengan kumpulan data, kami menyebutnya, seperti yang Anda ketahui, metadata. Produk membutuhkan perhatian yang setara. Beberapa informasi tentang produk dapat diperoleh dari metadata; beberapa tidak bisa. Daftar sebagian dari definisi informasi untuk laporan, dokumen, atau map mungkin mencakup hal-hal berikut:

- Sebuah judul
- Paragraf deskriptif tentang konten dokumen dan cara penggunaannya
- Area geografis yang dicakup
- Tanggal informasi itu diproduksi
- Pengidentifikasi yang memungkinkan pengguna untuk menentukan informasi pendefinisi mengenai data yang mendukung dalam laporan — referensi ke metadata, mungkin
- Pernyataan tentang ketepatan informasi dalam laporan
- Estimasi akurasi informasi dalam laporan
- Variabel yang digunakan dalam pembuatan laporan
- Nama, nomor telepon, email, dan alamat pos seseorang (atau agensi) yang dapat dihubungi untuk mendapatkan informasi mengenai laporan
- Semua parameter yang disediakan oleh pengguna dalam memproduksi laporan
- Peringatan apa pun kepada pengguna
- Identifikasi lembaga dan individu yang bertanggung jawab atas laporan tersebut

Tidak semua informasi ini harus muncul dalam format yang sama di tempat yang sama. Beberapa di antaranya mungkin dibuat oleh komputer dan muncul pada cetakan: tanggal, pengidentifikasi data, parameter, informasi presisitas dan keakurasian, dan sebagainya. Berbagai informasi deskriptif mungkin lebih baik dicetak secara terpisah dan dilampirkan pada laporan produksi komputer. Terlepas dari metode produksi atau diseminasi, produk dari GIS harus menjadi paket yang lengkap. Dan, tentu saja, petunjuk ke metadata dari sumber data penyusun harus disediakan.

Mungkin ditentukan bahwa setiap pengguna GIS institusi harus diberikan panduan pengguna dari sistem yang terutama menjelaskan kustomisasi GIS off-the-shelf seperti ArcGIS. Manual semacam itu dapat mengatur konteks keseluruhan sistem dan kemudian menjelaskan setiap seri produk. Manual semacam itu harus longgar dan modular; dan juga harus tersedia secara online. Skema pemutakhiran harus dipikirkan dengan hati-hati.

Saat informasi penentu tentang laporan terdapat dalam panduan pengguna dan bukan di produk itu sendiri, produk harus berisi referensi ke panduan pengguna; hilangnya hubungan antara laporan dan informasi yang menentukan dapat mencegah penerimaan dan penggunaan system.

13.5.2 Pemikiran tentang Berbagai Jenis Produk

Alasan utama memiliki GIS adalah:

- memberikan informasi baru atau
- memberikan informasi dalam bentuk baru.

Jenis informasi yang jelas berasal dari GIS adalah dalam bentuk grafik: map. Namun, ada banyak cara lain untuk menyampaikan informasi tentang lingkungan — beberapa lebih selaras dengan gaya pembuat keputusan daripada gaya orang awam.

13.5.3 Jangan Abaikan Informasi Berbasis Karakter

Informasi berbasis karakter adalah jenis yang paling sering digunakan oleh pembuat keputusan, tetapi informasi grafis adalah bentuk yang paling banyak digunakan oleh para profesional perencanaan yang menyarankan pengambil keputusan dalam merumuskan rekomendasi mereka.

Beberapa manusia, mungkin secara bawaan, lebih baik dalam menangani informasi grafis dan beberapa lainnya lebih baik dalam informasi berbasis karakter. Ada juga bukti fisiologis yang menunjukkan bahwa dua jenis yang berbeda diproses oleh belahan otak yang berbeda. Seseorang mungkin dapat menggambar paralel dengan kidal dan normal.

Bukan tujuan saya untuk menyarankan (atau menyangkal) bahwa setiap orang memiliki dominasi yang melekat pada kemampuan untuk memproses informasi berbasis karakter atau grafis, tetapi untuk menunjukkan bahaya bahwa seseorang mungkin secara alami memilih informasi dalam bentuk tertentu — sama seperti dia mungkin secara alami menggunakan obeng dengan tangan kirinya — ketika bentuk lain mungkin lebih tepat untuk membantu orang tersebut dalam mendapatkan pemahaman yang diperlukan.

GIS dapat memberikan informasi berbasis karakter dan grafis, dan GIS apa pun yang digunakan mungkin hanya satu saja yang tidak akan berhasil.

13.5.4 Jangan Ragu Menyortir Informasi

Misalnya, anggaplah sekitar 348 “area lingkungan kritis yang butuh perhatian” dinominasikan dan kode identifikasi dilampirkan pada masing-masingnya; GIS Anda memiliki informasi untuk menghitung faktor antara 1 dan 100 yang menunjukkan tingkat bahaya yang masing-masing subjeknya. Keluaran yang Anda bayangkan adalah sebuah daftar, dalam urutan kode identifikasi, dengan "faktor bahaya" tercetak di kolom yang berdekatan. Saat Anda mendapatkan hasilnya, Anda dapat melihat daftar untuk menemukan area dengan faktor tertinggi, kemudian tertinggi berikutnya, dan seterusnya. Pada titik ini, sementara semua yang Anda inginkan ada di sana, jelas bisa dalam bentuk yang lebih baik: dalam urutan faktor bahaya (atau sebagai tambahan) dibanding berupa urutan kode identifikasi.

13.5.5 Pertimbangkan Hard Copy

Pertimbangkan penggunaan GIS dalam beberapa aplikasi untuk mencetak daftar, katalog, atau tabel angka — yang 99 persennya tidak pernah dilihat. Jenis keluaran ini dapat diganti secara berkala atau sesuai kebutuhan. Ada juga opsi untuk meletakkan informasi semacam itu di internet, tetapi hal itu mungkin dapat membuatnya kurang dapat diakses dalam beberapa kasus.

Meskipun mencetak banyak kertas terdengar boros, sebenarnya bisa hemat biaya. Perhatikan contoh buku telepon. Terlepas dari duplikasi, kertas, dan biaya distribusi — dan fakta daripada layanan informasi disediakan melalui telepon — lebih murah untuk mengatur dan memberikan sebagian besar informasi yang tidak diinginkan kepada setiap pelanggan di suatu wilayah dibanding menanggapi kebutuhan pelanggan akan informasi secara dinamis. pada waktu tertentu. Di sisi lain, perusahaan telepon tidak memberikan daftar pelanggan untuk seluruh negara. Poin kuncinya adalah masalah kegunaan produk dan biaya harus dilihat secara komprehensif — tidak hanya dalam hal waktu, bahan, atau usaha manusia saja.

13.5.6 Pertimbangkan Keseimbangan dalam Konten Produk

Dalam desain suatu produk, harus ada keseimbangan antara kesederhanaan dan keumuman. Di satu sisi, produk terbaik adalah produk yang berbicara langsung kepada pembuat keputusan, menghargai kemampuannya, berkaitan dengan masalah yang dia hadapi. Di sisi lain, bagus untuk memiliki produk dengan desain yang baik sehingga dapat melayani pengambil keputusan, penasihatnya, mereka di bidang lain, atau mungkin publik dan pengadilan. Pembuat map, tentu saja, sangat menyadari masalah desain ini. Kegunaan map dapat ditingkatkan dengan menambahkan jenis informasi baru namun pada saat yang sama dapat menyusahkan karena map menjadi lebih berantakan. Map yang “menunjukkan” semuanya tidak menunjukkan apa-apa, karena akan berwarna hitam.

13.5.7 Elemen Desain Produk

Desain produk adalah seni yang menggabungkan apa yang mungkin dengan apa yang dibutuhkan. Banyak faktor dalam desain yang baik:

- *Pemeriksaan*—Pemeriksaan produk dari sistem lain
- Inovasi — Kemampuan untuk memahami cara yang lebih bermakna untuk menampilkan informasi dalam batasan perangkat yang menyatukan informasi
- Perbaikan — Dari produk yang telah diproduksi oleh GIS dengan cara memperolehnya, dan memperhatikan masukan dari pengguna produk
- Pengetahuan — Data apa yang diperlukan (dan karakteristik lain dari data tersebut) untuk menghasilkan informasi yang diperlukan
- Hilangnya bias —Terhadap informasi grafis atau berbasis karakter dan kemampuan untuk memberikan informasi dalam format terbaik untuk pelanggan yang dimaksud

13.5.8 Unit, Proyeksi, dan Skala

Di Kentucky, delapan sistem koordinat berbeda untuk informasi spasial digunakan oleh satu lembaga negara sendiri. Tidak diragukan lagi, negara bagian lain juga memiliki masalah ini. Bagaimana seharusnya jarak pada peta ditampilkan — metrik atau sebaliknya? Apa yang muncul pada produk harus mempertimbangkan sifat audiens. Jika Anda bisa, hindari produk yang berantakan dengan beberapa sistem koordinat. Jika pengguna tidak keberatan map terlihat aneh, Anda dapat membuat map menggunakan koordinat lintang dan bujur. Namun biasanya, pengguna menyukai map yang skalanya konsisten di semua arah.

13.5.9 Pemikiran tentang Resolusi dan Skala

Resolusi, pada dasarnya, adalah panjang terkecil dalam satuan di mana identitas atau karakteristik sesuatu dapat dipecahkan dengan melihat produknya. Misalnya, berapa

diameter benda terkecil yang dapat dilihat pada foto udara? Jelas, jawabannya bergantung pada beberapa faktor selain diameter benda. Ini melibatkan pantulan objek dibandingkan dengan sekitarnya, kualitas penglihatan orang yang melihat foto, dan skala foto. Foto Arizona berukuran 8 × 10 mungkin hanya memungkinkan objek sebesar Phoenix terlihat. Namun, melalui pembesaran foto yang sama, dimungkinkan untuk meningkatkan resolusi sehingga objek dengan lebar 100 kaki dapat diidentifikasi. Jika pembesaran lebih lanjut — tidak peduli seberapa luas — tidak memungkinkan identifikasi objek dengan diameter lebih kecil dari 100 kaki, maka resolusi foto dikatakan 100 kaki. Jadi, jelas bahwa resolusi dan skala terkait erat — semakin besar skalanya, semakin besar resolusinya — hingga batas tertentu. Di luar batas tersebut, tidak ada informasi lebih lanjut yang dapat diperoleh dari produk hanya dengan memperbesar skala. Dalam latihan sebelumnya, Anda memiliki pengalaman, melihat gambar bitmap, melihat informasi menghilang saat Anda memperbesarnya.

Jika area tanah tertentu akan dicakup, desainer harus mempertimbangkan faktor relatif ukuran, skala, dan resolusi untuk menentukan metode yang paling tepat dalam menghasilkan produk informasi. Seringnya, penentuan ini dibuat tanpa pemikiran yang memadai, atau dipengaruhi oleh kebiasaan dan ukuran meja ruang konferensi. Masalah skala yang tepat harus dipertimbangkan di awal proses karena beberapa produk GIS menggunakan lapisan dan map dasar dari bahan lain untuk membuatnya bermakna. Jelas, pertandingan fisik yang hampir persis harus terjadi. Selanjutnya, ukuran, skala, dan resolusi map dasar dan produk yang dilapisi harus sesuai. Perlu disebutkan di sini bahwa reproduksi keluaran map kertas, dari sumber mana pun, tidak selalu berukuran sama dengan aslinya — dan karenanya tidak memiliki skala yang sama dengan aslinya. Sayangnya, pernyataan mengenai skala yang dicetak di map, seperti 1 inci = 1000 kaki, direproduksi bersama dengan yang lainnya, menciptakan kebohongan bawaan.

13.6 Memastikan Adanya Map Dasar

GIS Anda mungkin akan mencakup banyak lapisan. Keberadaan map dasar — produk yang diproduksi secara kartografis atau fotografis, biasanya, memiliki keakuratan yang tinggi, presisi tinggi, dan detail luar biasa yang menjadi acuan semua produk GIS lainnya — sangat penting. Mencoba membangun produk GIS tanpa terlebih dahulu mengembangkan (atau mendapatkan) map dasar geografis merupakan hal bodoh. Namun perlu diketahui: Menggunakan GPS terutama untuk membuat kumpulan data GIS yang dimaksudkan untuk melayani fungsi peta dasar adalah pekerjaan yang mengerikan.

13.6.1 Mengukur Jaminan Kualitas

Salah satu nilai GIS adalah kemampuannya untuk menggabungkan berbagai jenis informasi yang memiliki basis geografis yang sama. Misalnya, pengguna mungkin memerlukan map yang menampilkan variabel tunggal yang berasal dari kombinasi jenis tanah, jenis batuan dasar, dan kedalaman batuan dasar. Aspek penting dari informasi penentu laporan yang menggabungkan ketiga variabel ini adalah tingkat kepercayaan yang dapat diberikan seseorang pada keakuratan informasi yang dihasilkan. Setiap variabel individu penyusun disimpan dalam database dan masing-masing memiliki karakteristik presisi dan akurasinya sendiri — diukur dalam kaitannya dengan koordinat geografis dan nilai variabel. Oleh karena itu, sebagaimana nilai dari tiga variabel individu digabungkan untuk menghasilkan satu variabel, atribut presisi dan akurasi dari variabel ini harus digabungkan — menurut teknik numerik yang sesuai —

menentukan keakuratan hasil akhir. Pernyataan akurasi harus dimasukkan sebagai bagian dari laporan yang dihasilkan.

Proses menilai keakuratan tidak selalu mudah, dan hasilnya juga tidak selalu menggembirakan. Misalnya, dalam studi yang dilakukan oleh Organisasi Riset Industri Ilmiah Persemakmuran Australia beberapa tahun lalu, yang melibatkan tiga variabel, dilakukan analisis terhadap output. Ketika titik-titik tertentu di permukaan bumi dipilih dan "dibuktikan kebenarannya", ditemukan bahwa setidaknya satu dari variabel penyusunnya salah lebih dari 60 persen dari waktu. Implikasi terhadap keakuratan laporan gabungan sudah jelas.

Terus terang, kurangnya pelaporan kualitas yang memadai dari produk turunan merupakan kelemahan utama dari semua perangkat lunak GIS komersial.

13.6.2 Pengambil Keputusan - Antarmuka Produk

Tindakan pembuat keputusan yang duduk di depan komputer adalah tindakan yang memotong hampir semua "orang penyangga" antara pembuat keputusan dan komputer. Banyak pembuat keputusan tidak ingin menghabiskan waktu yang diperlukan untuk mempelajari atau mengoperasikan perangkat lunak. Ada juga elemen tertentu dari ketakutan yang dialami bahkan bagi orang yang paling dianggap mampu sekalipun dalam melakukan hal baru karena diawasi orang lain.

Seseorang yang familiar dengan produk (termasuk asumsi yang mendasari produk tersebut dan produk lain yang mungkin berguna bagi pengambil keputusan) harus hadir saat produk tersebut digunakan. Orang yang ditugasi membuat keputusan memiliki cara mengajukan pertanyaan yang tidak terpikirkan oleh siapa pun. Siapapun yang ingin memberi mereka informasi baru dalam bentuk baru sebaiknya bersiap-siap.

Orang yang bertanggung jawab untuk memahami dan menjelaskan dokumen juga berada dalam posisi yang ideal untuk merekomendasikan perubahan dalam struktur dokumen atau konten informasi berdasarkan percakapan dengan pengguna produk. Penyebaran produk yang berisi informasi sangat banyak terjadi melalui jalan dua arah dan bergantung pada masukan pengguna untuk kelanjutan yang sukses.

Seringkali, kebutuhan pengguna tidak dirasakan dengan benar oleh perancang produk. Selanjutnya, kebutuhan pengguna berubah. Faktor-faktor ini dan banyak faktor lainnya menunjukkan bahwa dialog yang berkelanjutan antara penyedia dan pengguna produk informasi harus ada.

Mungkin saja, alih-alih memiliki seseorang yang ditugaskan ke satu set produk tertentu sebagai antarmuka antara pembuat keputusan dan produk, personel dapat ditugaskan sebagai penghubung ke berbagai departemen yang menggunakan produk tersebut. Skema mana pun yang dipilih, personel yang bertugas menyediakan antarmuka antara produk dan pengambil keputusan harus bertemu secara langsung antara mereka sendiri secara teratur untuk membantu meningkatkan efektivitas operasi GIS.

13.7 Kesimpulan

Analisis spasial sering melibatkan pengembangan model spasial. Model-model ini dapat membantu kita memahami bagaimana fenomena atau sistem berubah melalui ruang dan

waktu, dan mereka dapat digunakan untuk memecahkan masalah. Dalam bab ini kami menjelaskan model kartografi, dan model spatio-temporal. Model kartografi sering menggabungkan beberapa layer data untuk memenuhi serangkaian kriteria. Layer data digabungkan melalui penerapan urutan operasi spasial, termasuk overlay, reklasifikasi, dan buffering. Model kartografi dapat ditentukan dengan diagram alur, diagram yang mewakili layer data dan urutan operasi spasial. Model kartografi bersifat statis dalam waktu relatif terhadap jenis model lainnya.

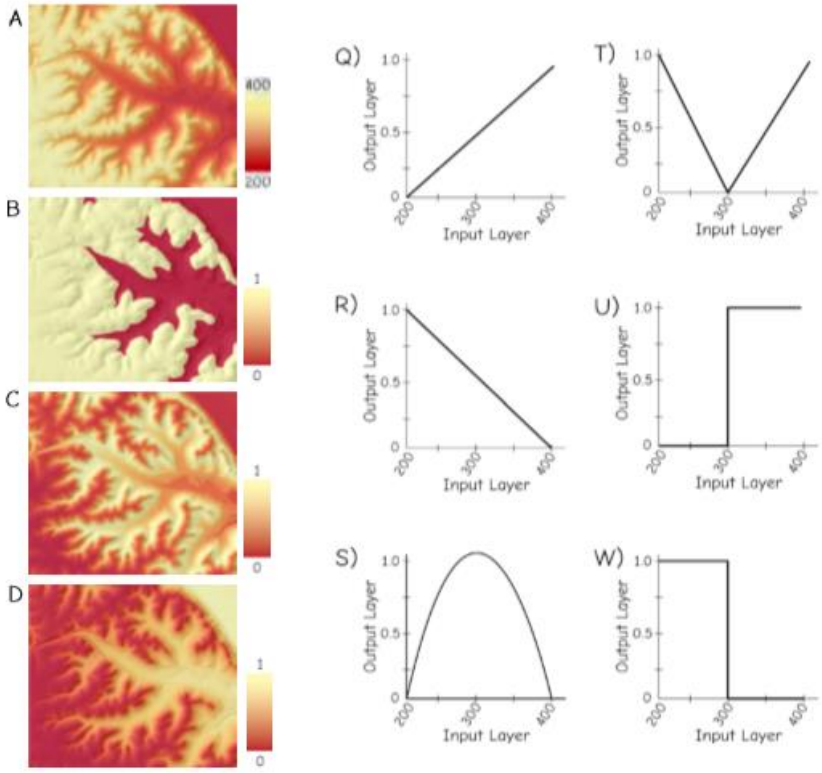
Model spatio-temporal secara eksplisit mewakili perubahan fenomena penting melalui waktu dalam model. Model ini biasanya lebih rinci, dan kurang fleksibel dibandingkan model kartografi, sebagian karena model spatio-temporal sering menyertakan beberapa representasi proses. Misalnya, banyak model spatio-temporal telah dikembangkan untuk memodelkan aliran air melalui suatu wilayah, dan model ini menggabungkan rumus mengenai fisika pergerakan transportasi air. Model mungkin stokastik atau deterministik, berbasis proses atau statistik, atau mereka mungkin memiliki kombinasi karakteristik ini.

Anda dapat melihat bahwa jumlah dan keragaman produk informasi potensial dari GIS hampir tidak terbatas. Namun, produk ini tidak berguna jika tidak memenuhi kebutuhan atau tidak sesuai untuk audiens yang dituju. Lagu, "Alice’s Restaurant Massacree" oleh Arlo Guthrie berisi baris: "…dan juri [dengan mata anjing] tidak akan melihat gambar mengilap dua puluh tujuh ukuran 8 kali 10 dengan lingkaran dan panah serta paragraf di belakang masing-masing gambar…”

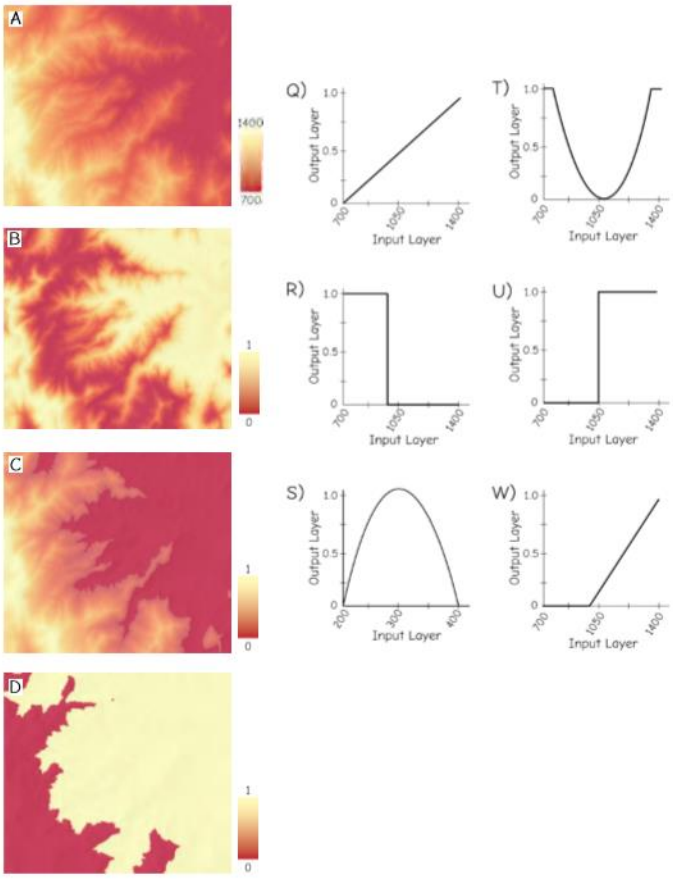
Desain produk informasi harus, tentu saja, berangkat dari pandangan yang tercerahkan dari data yang digunakan untuk mendukungnya. Yang tidak kalah penting, bagaimanapun, adalah pemahaman yang jelas tentang kebutuhan pengambil keputusan atau administrator yang akan menggunakannya.

13.8 Soal Latihan

1. Memberikan contoh model kartografi, termasuk kriteria dan diagram alur langkah-langkah yang digunakan untuk menerapkan model tersebut.
2. Mengapa kriteria harus disempurnakan dalam banyak proses pemodelan kartografi?
3. Apa yang kita maksudkan ketika kita mengatakan bahwa kebanyakan model kartografi adalah statis sementara?
4. Apa yang dimaksud dengan pembobotan diskrit vs. kontinu dalam layer masukan saat menggabungkan layer dalam overlay kartografi? Bagaimana Anda mengembangkan fungsi peringkat kontinu yang masuk akal, yaitu, membenarkan bentuk kurva vs. tingkat variabel input?
5. Cocokkan layer output B, C, dan D, dengan grafik reklasifikasi yang sesuai Q - W bila diterapkan pada DEM asli, A. Perhatikan bahwa permukaan hillshade ditumpangkan untuk membantu visualisasi.



6. Cocokkan layer output B, C, dan D, dengan grafik reklasifikasi yang sesuai Q - W bila diterapkan pada DEM asli, A. Perhatikan bahwa permukaan hillshade ditumpangkan untuk membantu visualisasi.



7. Tentukan automata seluler. Bagaimana mereka berbeda dari model berbasis sel lainnya?
8. Apa yang dimaksud dengan model berbasis agen? Bagaimana agen berbeda dari elemen lain dalam model berbasis agen?

13.9 DAFTAR PUSTAKA

Anselin, L., Syabri, I., Kho, Y. (2006). GeoDA: an introduction to spatial data analysis. Geographical Analysis, 38:5–22.

Brady, M., Irwin, E. (2011). Accounting for spatial effects in economic models of land use: recent developments and challenges ahead. Environmental and Resource Economics, 48:487-509.

Brown, D., Riolog, R., Robinson, D.G., North, M., Rand, W. (2005). Spatial processes and data models: Towards integration of agent-based models and GIS. Journal of Geographical Systems. 7:25–47.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press.

Carlson, S. (2000). The amateur scientist: Boids of a feather flock together. Scientific American, 283:112–114.

Clarke, K.C., Hoppen, S., Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. Environment and Planning, 24:247–261.

Cliff, A.D., Ord, J.K. (1981). Spatial Processes: Models and Applications. London: Pion.

Cooke, W.H.K., Katarzyna, G., Wallis, R.C. (2006). Avian GIS models signal human risk for West Nile virus in Mississippi. International Journal of Health Geography, 5:36, doi:10.1186/1476–072X–5–36.

Dixon, B., Uddameri, V. (2016). GIS and Geocomputation for Water Resource Science and Engineering. Hoboken: Wiley.

Fotheringham, S., Wegener, M. (2000). Spatial Models and GIS: New Potential and New Models.London: Taylor and Francis.

Goodchild, M.F., Steyaert, L. T., Parks, B. O. (1996). GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues.

Fort Collins: GIS World Books. Griffith, D.A., Layne, L.J. (1999). A Casebook for Spatial Statistical Data Analysis. Oxford: Oxford University Press.

He, H.S., Mladenoff, D. J., Boeder, J. (1999). An object-oriented forest landscape model and its representation of tree species. Ecological Modeling, 119:1–19.

Horn, M.E.T. (2004). Modelling and assessment of demand-responsive passenger transport services. J. Stillwell and G. Clarke (Ed.), Applied GIS and Spatial Analysis. Wiley: New York.

Huevelink, G.B.M., Burrough, P.A. (1993). Error propagation in cartographic modelling using Boolean logic and continuous classification. International Journal of Geographical Information Systems, 7:231–246.

Jetten, V., Govers, G., Hessel, R. (2003). Erosion models: quality of spatial predictions. Hydrologic Processes, 17:887–900.

Johnston, C. (1998). GIS in Ecology. Boston: Blackwell Scientific.

Kaufmann, A. (1975). Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets. New York: Academic Press.

Klir, G.J., Folger, T.A. (1988). Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Krzanowski, R., Raper, J. (2001). Spatial Evolutionary Modelling. Oxford: Oxford University Press. Malczewski, J.C. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: Wiley.

McCool, D.K., Brown, L.C., Foster, G.R., Mutchler, C.K., Meyer, LD. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 30:1387–1396.

McCool, D.K., Foster, G.R., Mutchler, C.K., Meyer, LD. (1989). Revised slope length equation for the Universal Soil Loss Equation, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 32:1571–1576.

Mladenoff, D.J., He, H.S. (1999). Design, behavior and application of LANDIS, an object-oriented model of forest landscape disturbance and succession, In D.J.

Mladenoff, & W.L. Baker (Eds.), Advances in Spatial Modeling of Forest Landscape Change: Approaches and Applications. Cambridge: Cambridge University Press.

Monmonnier, M. (1993). How To Lie With Maps. Chicago: University of Chicago Press.

Moore I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., Peterson, G.A. (1993). Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science, 57:443–452.

Parent, O., LeSage, J.P. (2010). A spatial dynamic panel model with random effects applied to commuting times. Transportation Research Part B: Methodological, 44:633–645.

Pinske, J., Slade, M.E. (2010). The future of spatial econometrics. Journal of Regional Science, 50:103–117.

Reynolds, C.W. (1987). Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. Computer Graphics, 21:25–34.

Rossiter, D.G. (1996). A theoretical framework for land evaluation. Geoderma, 72:165–190.

Running, S.W., Nemani, R.R., Heinsch, F.A., Zhao, M., Reeves, M., & Hashimoto, H. (2004). A continuous satellite-derived measured of global terrestrial primary production. Bioscience, 54:547–560.

Stillwell, J.A., Clarke, G. (2004). Applied GIS and Spatial Analysis. New York: Wiley.

Turner, M.G., Gardener, R.H. (Eds.). (1991).Quantitative Methods in Landscape Ecology. New York: Springer Verlag.

Wagner, D.F. (1997). Cellular Automata and Geographic Information Systems. Environment and Planning, 24:219–234.

Wilson, J., Gallant, J. (Eds.) (2000). Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: Wiley.

Wilson, J.P., Lorang, M.S. (2000). Spatial models of soil erosion and GIS, in Spatial Models and GIS, Fotheringham, A.S., & Wegener, M. (eds.). London: Taylor & Francis.

Wolfram, S. (1994). Cellular Automata and Complexity. Reading: Addison-Wesley.

BAB 14
STANDAR DATA DAN KUALITAS DATA

14.1 Pendahuluan

Standar adalah ukuran, bentuk, atau metode yang ditetapkan atau disetujui. Ini adalah cara yang disepakati untuk melakukan, menggambarkan, atau menyampaikan sesuatu. Data spasial dan standar analisis penting karena jangkauan organisasi yang memproduksi dan menggunakan data spasial dan karena data ini sering ditransfer antar organisasi. Standar data memfasilitasi pemahaman umum tentang komponen kumpulan data spasial, bagaimana data dikembangkan, dan kegunaan serta keterbatasan data tersebut.

Praktisi GIS menggunakan beberapa jenis standar. Standar data digunakan untuk memformat, menilai, mendokumentasikan, dan menyampaikan data spasial. Standar interoperabilitas mengidentifikasi bagaimana data spasial disajikan antara jaringan perangkat lunak dan sistem perangkat keras yang heterogen, misalnya, antara perangkat seluler nirkabel dan Database bersama. Standar analisis memastikan bahwa metode yang paling tepat digunakan dan analisis spasial memberikan informasi terbaik. Standar profesional atau sertifikasi menetapkan pendidikan, pengetahuan, atau pengalaman analis GIS, sehingga meningkatkan kemungkinan bahwa teknologi akan digunakan dengan tepat.

Kami telah berkembang lebih jauh dalam mendefinisikan data spasial dan standar interoperabilitas daripada dalam mendefinisikan analisis dan standar profesional. Ini sebagian karena kebaruan teknologi, dan sebagian karena GIS digunakan dalam berbagai disiplin ilmu. Perencana kota, konservasionis, insinyur sipil dan utilitas, pebisnis, dan sejumlah profesi lainnya menggunakan GIS.

Ada inisiatif paralel di banyak negara, informasi yang dapat ditemukan melalui Komisi Standar Data Spasial Internasional. Komisi saat ini berfungsi sebagai clearinghouse dan pintu gerbang ke standar nasional di seluruh dunia.

Organisasi Standar Internasional (ISO) mengatur standar internasional, dan mensponsori standar ISO/TC211 (http://www.isotc211.org). Ini menentukan cara untuk menyimpan dan mewakili informasi spasial dan terkait, layanan dan manajemen data, memproses, mentransfer, dan menyajikan informasi. Standar diatur sebagai berbagai proyek, misalnya, standar untuk mewakili koordinat, standar pengujian, atau untuk mengukur kualitas data. Banyak standar sedang dalam pengembangan aktif, tetapi karena standar ini menjadi stabil, akan memudahkan transfer data dan informasi antar perangkat lunak GIS yang berbeda, antar organisasi, dan melalui waktu.

Berbagi data spasial, terutama secara real time, didukung oleh interoperabilitas sistem. Perangkat lunak data spasial berjalan di berbagai platform komputasi, dan terhubung melalui jaringan fisik atau nirkabel. Standar interoperabilitas diperlukan karena metode berbagi kami telah berkembang seiring waktu. Sampai akhir 1990-an, sebagian besar analisis GIS menggunakan data lokal, artinya kumpulan data disimpan pada hard disk di komputer yang sama dengan unit pemrosesan, atau dalam jaringan pribadi yang sering terhubung erat. Interoperabilitas antar sistem terutama melalui berbagi data fisik, melalui pita atau disk yang dibawa dari satu komputer ke komputer lain, dan penerjemah yang mengubah format file. Standar data berfokus pada format dan struktur file. Kebanyakan sistem komputer sekarang terhubung melalui jaringan, paling sering World Wide Web. Awalnya Web hanya memfasilitasi

pengiriman, dan data masih ditransfer sebagai file utuh dalam format lama, dan diterjemahkan untuk digunakan dalam sistem lokal. Namun, jaringan yang terus menerus dan ada di mana-mana memungkinkan transfer komponen data spasial; misalnya, koordinat dan data atribut, di seluruh sistem komputer, dan data yang disimpan di mana saja di Web mungkin tampak tidak berbeda dengan data di penyimpanan lokal.

Open Geospatial Consortium (OGC) adalah kelompok perusahaan, lembaga penelitian, badan pemerintah, dan individu ad hoc yang dipilih sendiri yang didedikasikan untuk mengembangkan standar interoperabilitas. Masalah interoperasi diidentifikasi, seperti kesulitan umum dalam mengakses data lokasi spasial waktu yang bervariasi melalui jaringan nirkabel terdistribusi, dan standar untuk akses yang diusulkan. Ini ditinjau, dibahas, diubah, dan diadopsi. Standar layanan pemetaan web (WMS) adalah contoh inisiatif OGC.

Layanan pemetaan web memungkinkan perangkat lunak GIS untuk mengakses data di internet seolah-olah disimpan di hard disk lokal. Program atau utilitas GIS "memetakan" WMS ke komputer lokal, artinya ia dapat mengakses data dengan protokol yang sama seolah-olah disimpan secara lokal, tanpa mengunduh salinan permanen untuk disimpan di hard disk lokal. WMS sangat berguna untuk data gambar resolusi tinggi, yang sering dilihat untuk area yang relatif kecil, tetapi dapat dikumpulkan dan disimpan dalam ubin besar. WMS dapat menjadi alternatif untuk mengunduh file besar, menyediakan data sesuai permintaan dan hanya untuk area yang diminati.

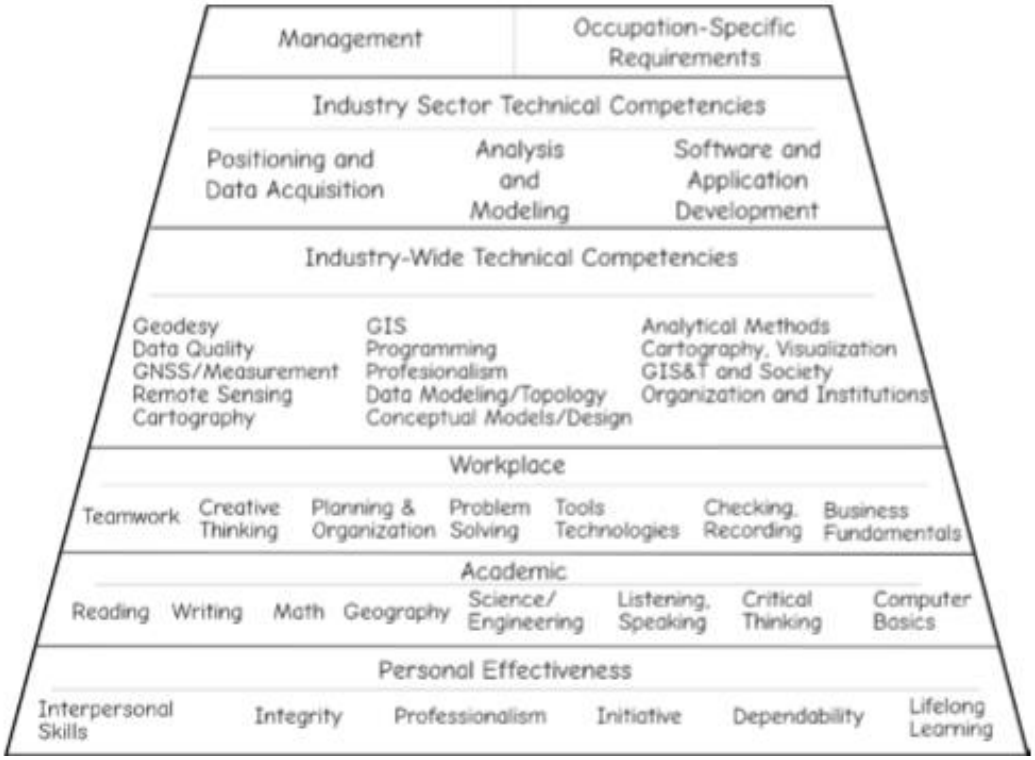
Layanan web seperti WMS penting untuk masa depan komputasi berbasis cloud, di mana data, program, dan pemrosesan didistribusikan secara mulus di komputer yang terhubung di seluruh web. Komputasi geospasial berbasis cloud secara inheren bergantung pada standar interoperabilitas yang kuat dan terdefinisi dengan baik seperti yang dikembangkan oleh OGC. Standar mengidentifikasi format dan konten data, bagian dan penamaan, metadata, bagaimana koneksi dibuat dan data diteruskan antar program melalui jaringan terdistribusi, dan pengecekan kesalahan dalam transfer. Standar memungkinkan data untuk digabungkan di berbagai organisasi, dengan penyimpanan lokal dan formulir serta protokol akses, dan cara standar untuk menyajikan data kepada orang lain melalui layanan.

Telah terbukti lebih sulit untuk mengembangkan standar profesional dan analisis yang inklusif di semua disiplin ilmu. Metode standar untuk satu disiplin mungkin tidak sesuai untuk yang lain. Misalnya, metode pengumpulan data yang dapat diterima untuk surveyor kadaster mungkin berbeda dari untuk rimbawan. Teknik pengukuran lapangan, reduksi data, dan pelaporan posisi untuk survei kadaster seringkali membutuhkan akurasi yang diukur dalam sentimeter (0,5 in) atau kurang, sementara informasi atribut yang relatif jarang dicatat. Sebaliknya, metode inventarisasi hutan memungkinkan pengukuran posisi skala yang relatif kasar, hingga beberapa meter terdekat, tetapi memerlukan metode standar untuk mengukur sekumpulan atribut yang besar.

14.1.1 Model Kompetensi Geospasial

Model Kompetensi Teknologi Geospasial (Gambar 14-1) mengidentifikasi seperangkat kemampuan geospasial sektor inti dan industri. Model Kompetensi mengidentifikasi contoh lebih dari 40 “Fungsi Kerja Kritis”, yang biasanya diharapkan dikuasai dan digunakan oleh para profesional teknologi geografis dalam karir mereka, dan latar belakang pengetahuan yang mendasari Fungsi Kerja Kritis ini. Model Kompetensi Geospasial sebagian didasarkan pada Badan Pengetahuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Informasi Geografis, pertama kali diterbitkan oleh Association of American Geographers pada tahun 2006. Fungsi kerja kritis

mencakup operasi dalam geodesi dasar, sistem pengumpulan data, struktur data, operasi dan pemrograman GIS , metode analisis, kartografi, kedudukan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi geografis dalam masyarakat, serta organisasi dan lembaga. Serangkaian persyaratan tingkat yang lebih tinggi dicatat untuk pekerjaan tertentu.



Gambar 14.1 Model Kompetensi Geospasial yang dikembangkan oleh A.S. Departemen Tenaga Kerja. Silakan lihat: http://www.careeronestop.org/CompetencyModel/competency-models/geospatial-technology.aspx untuk deskripsi lengkap model dan komponen.

Kita mungkin mengharapkan model kompetensi ini menjadi dasar sertifikasi profesi, dan berkembang menjadi atau membentuk dasar standar pengetahuan profesional di bidang geospasial. Seseorang dapat membayangkan sertifikasi profesional atau teknis berdasarkan pengetahuan yang ditunjukkan di bidang ini, seperti dalam ujian teknik profesional, atau mungkin dalam sertifikasi penyelesaian kurikulum kualifikasi. Saat ini tidak ada sertifikasi atau mekanisme pengujian untuk kompetensi ini, tetapi mungkin akan dikembangkan di masa mendatang.

14.1.2 Mengapa Analisis Data Spasial Begitu Sulit?

Dataset spasial (yaitu, geografis) sangat sulit untuk dianalisis. Di bidang usaha lain manusia, sebagian besar kumpulan data yang ingin dianalisis secara alami terdiri dari angka. Bagaimana sejarah naik turunnya pasar saham? Angka. Apa statistik yang berkaitan dengan nilai siswa di kelas dua? Angka. Berapa bagian per juta molekul karbon monoksida yang dapat ditoleransi dengan aman oleh berbagai jenis hewan yang menghirup udara? Angka. Tetapi cara utama menyimpan data spasial untuk sebagian besar sejarah manusia adalah dengan menggunakan map — baik kertas, Mylar, atau gambar komputer.

Angka dan teks terdiri dari simbol diskrit yang baik. Setiap simbol dapat diwakili oleh sedikit tinta atau beberapa piksel yang sesuai pada layar komputer yang tersusun rapi dalam persegi kira-kira seperdelapan inci pada satu sisinya. Dan, dalam bahasa Inggris, tidak banyak simbol

yang berbeda: 10 digit, 26 huruf besar, 26 huruf kecil, dan sekumpulan simbol khusus — total maksimal 256. Map juga menggunakan simbol, tetapi sebenarnya tidak demikian baik. Misalnya, melambangkan jalan dapat menghasilkan garis bergelombang sepanjang 2 kaki.

Sebagaimana dibahas dalam bab sebelumnya, map sulit untuk dianalisis, dan map juga sulit untuk dibandingkan. Selain itu, map telah menjadi cara utama untuk menyimpan dan menampilkan data spasial — suatu ide yang telah kita bahas sebelumnya. Salah satu keuntungan utama GIS berbasis komputer adalah kita dapat memisahkan fungsi penyimpanan dari fungsi tampilan.

Metode fisik untuk membandingkan map melibatkan seperangkat, awalnya, lembaran plastik bening, satu untuk setiap tema di wilayah studi. Setiap map digelapkan di area tertentu untuk menunjukkan kurangnya kesesuaian tema tersebut (untuk beberapa aktivitas atau struktur) di lokasi tersebut. Area map yang benar-benar jelas mungkin berarti area yang benar-benar cocok di lapangan. Area yang benar-benar hitam akan menunjukkan kurangnya kesesuaian. Tingkat kesesuaian lainnya dapat ditunjukkan dengan area yang lebih terang atau lebih gelap (skala abu-abu). Misalnya, Anda menelusuri situs untuk bandara. Di satu lembar, tanah yang mahal akan dibuat lebih gelap, sedangkan yang lebih murah lebih terang. Di lembaran lain, area di mana struktur harus dihancurkan mungkin dibuat hitam. Lembar ketiga akan menunjukkan area yang sangat datar sejelas-jelasnya. Dengan asumsi bahwa semua map ini dibuat dengan ukuran, bentuk, skala, proyeksi yang sama, dan sebagainya (cukup merepotkan), Anda kemudian dapat menyusunnya dan meletakkannya di atas meja yang terang, memastikan bahwa area geografis yang setara terdaftar dengan benar (berbaris) satu sama lain, dan melihat melalui lembar itu untuk melihat gambar yang dihasilkan.

Dengan menggunakan teknik "map overlay" ini, semakin terang area yang dihasilkan, semakin cocok area itu. Anda mungkin dapat memikirkan beberapa alasan mengapa metode ini sangat tidak tepat (kepentingan relatif dari berbagai faktor, salah satunya — apakah pola cuaca sama pentingnya dengan topografi?), tetapi metode overlay adalah salah satu cara yang digunakan untuk menganalisis kumpulan data spasial yang berasal dari beberapa sumber peta.

14.1.3 Bagaimana Komputer Membantu Menganalisis Data Spasial

Komputer dapat membantu dalam analisis dan sintesis data spasial dengan berbagai cara. Pertama adalah kecepatan. Ini membantu komputer dalam menambah dan membandingkan angka miliaran kali lebih cepat daripada yang Anda bisa. (Komputer, meski bodoh, itu cepat dan akurat. Manusia itu pintar, tapi lambat dan ceroboh.) Lebih jauh, komputer mampu melakukan tugas berulang (baca: membosankan) selama berjam-jam atau bertahun-tahun. Anda mungkin tidak ingin mengenal seseorang dengan kemampuan ini. Keutamaan ketiga komputer di GIS adalah kemampuan untuk menyimpan kumpulan data yang sangat besar.

Faktor penting dalam menggunakan komputer untuk menganalisis data spasial adalah paradigma atau skema (model data, struktur data) yang digunakan untuk menyimpan data dalam memori mesin. Sementara masalah tentang format penyimpanan data tidak unik untuk GIS, banyak bidang lain memiliki masalah yang jauh lebih sedikit. Biasanya ketika seseorang menyimpan data di komputer, pertanyaan yang muncul adalah sebagai berikut:

- Haruskah saya menggunakan bilangan bulat atau angka dengan titik desimal?
- Apakah jumlahnya mungkin sangat besar atau sangat kecil?
- Apakah itu akan menimbulkan masalah jika saya menggunakan string teks untuk menyimpan nilai numerik?

Kumpulan angka seperti itu biasanya ada dalam daftar sederhana, database, atau mungkin dalam matriks.

14.1.4 Kompleksitas Data Spasial

Dengan data spasial, masalahnya jauh lebih kompleks dibandingkan dengan angka atau teks. Lingkungan alami dan buatan manusia tempat kami ingin bekerja

- Detailnya hampir tak terbatas
- Merupakan campuran dari fenomena kontinu dan diskrit
- Perlu dipertimbangkan pada tingkat detail yang berbeda

Komputer, di sisi lain, terbatas (kecil, sebenarnya) dan diskrit ke kesalahan (dibuat, pada tingkat yang paling mendasar, dari hal-hal, yaitu, bit, yang ada atau tidak, yaitu, 1s atau 0s — Tidak ada jalan tengah).

Jadi pertanyaannya adalah: Bagaimana kita bisa mengekstrak signifikansi dari kompleks, hampir tak terbatas, multidimensi alam dan lingkungan buatan manusia dan, hanya menggunakan angka, huruf, dan pola bit, membuat komputer membentuk "map" yang dapat dengan mudah dianalisis dan dibandingkan dengan fitur-fitur yang menyusun lingkungan yang kita minati. Dengan kata lain, kita perlu menemukan cara untuk menyusun data geografis dalam memori komputer sehingga kita dapat memperoleh jawaban atas pertanyaan yang mungkin kita buat.

14.1.5 Struktur Data Spasial

Apa saja prinsip, bidang, ide, alat, dan teknik yang berperan dalam pengembangan struktur data spasial? Ada beberapa hal di antaranya:

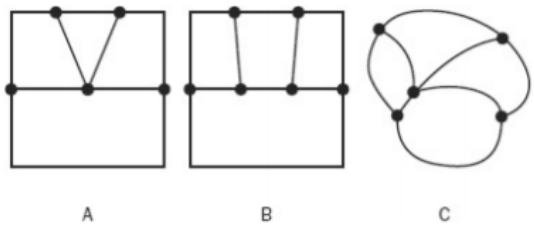
- ***Geometri***.

Cabang matematika yang berhubungan dengan pengukuran, sifat, dan hubungan titik, garis, sudut, permukaan, dan benda padat. Dengan geometri bidang kita dapat menentukan satu set bidang poligonal dengan segmen garis. Kita dapat melapisi satu set poligonal dengan yang lain, menggunakan geometri untuk menghitung di mana segmen garis berpotongan dan membuat poligon baru.

- ***Topologi***.

Secara umum, cabang matematika berkaitan dengan sifat konfigurasi geometris yang tidak berubah ketika posisi titik, garis, dan permukaan diubah. (Lelucon klasik: Ahli topologi adalah ahli matematika yang tidak dapat membedakan antara cangkir kopi dan donat [karena masing-masing adalah benda padat dengan satu lubang].)

Lihatlah gambar tiga bidang yang terdiri dari garis-garis yang terhubung ke titik temu/node. Node ditunjukkan oleh titik-titik tebal. Sementara konfigurasi "A" dan konfigurasi "B" tampaknya memiliki banyak kesamaan secara penampakan, padahal konfigurasi "A" dan "C" secara topologis identik dan konfigurasi "B" berbeda dari keduanya. "A" dan "C" memiliki jumlah baris dan node yang sama satu sama lain, dan Anda dapat menemukan persamaan dalam koneksi node dalam dua konfigurasi tersebut. Namun, Anda tidak dapat "memetakan" "B" ke "A" atau "C". Jika Anda tidak melihatnya, tetapkan huruf ke node dan angka ke baris di ketiganya. Buat tabel untuk “A,” “B,” dan “C,” menunjukkan node apa yang terhubung ke node apa dengan baris apa.



- ***Idealisasi***.

Simbol yang mudah dimanipulasi dapat menggantikan objek dunia nyata tiga dimensi yang sebenarnya. Semua objek fisik ada (seiring waktu) dalam ruang tiga dimensi. Jika ukuran objek dalam satu atau dua dimensi cukup kecil dibandingkan dengan dimensi lain, kita mungkin dapat mengabaikan satu atau dua dimensi dengan mudah. Misalnya, kita cenderung menganggap selembar kertas sebagai objek dua dimensi, tetapi tentu saja kertas itu memiliki ketebalan juga. Kita mungkin mengira hidran kebakaran (digambarkan pada peta sebagai titik — hanya titik geometris) sebagai entitas nol dimensi, tetapi itu tentu saja merupakan artefak tiga dimensi. (Tanyakan kepada insinyur yang merancangnya, pekerja yang memasangnya, petugas pemadam kebakaran yang menggunakannya, atau Anda sendiri, apakah Anda harus mencoba mengangkatnya.) Sama seperti kami mengidealkan objek yang digambarkan pada map, kami melakukannya dalam GIS. Kami mengatakan bahwa hidran kebakaran ada di lokasi yang ditentukan oleh satu pasangan lintang dan bujur, padahal sebagian darinya ada pada pasangan lintang-bujur dalam jumlah tak terbatas — semua, memang, berdekatan tetapi berbeda.

- ***Agregasi***.

Entitas yang memiliki karakteristik serupa disatukan. Misalnya, mengatakan bahwa suatu area memiliki x hektar tempat jagung ditanam dan y hektar tempat kedelai ditanam adalah pernyataan agregasi. Informasi tentang di mana masing-masing areal tanaman berada mungkin dirinici atau mungkin tidak.

- ***Interpolasi dan ekstrapolasi***.

Titik data yang diyakini memiliki tingkat akurasi tinggi telah diinterpolasi atau diekstrapolasi untuk mendapatkan informasi baru. Jika kita mengetahui bahwa ketinggian suatu titik di permukaan bumi adalah 900 kaki dan ketinggian titik lain yang sangat dekat adalah 910 kaki, kita mungkin melakukan interpolasi di antara keduanya untuk mengatakan bahwa ketinggian setengah di antara keduanya adalah 905 kaki. Untuk mendapatkan perkiraan yang lebih baik, kita mungkin juga mempertimbangkan kontur 890 kaki dan kontur 920 kaki. Bagaimanapun, ketinggian titik yang tidak diketahui seperti itu mungkin diketahui tidak kurang dari 900 kaki atau lebih dari 910 kaki. Jadi, dalam beberapa kasus, ada batasan kesalahan yang diperkenalkan oleh proses probabilitas.

Kategorisasi. Kami mengkategorikan saat kami memecah himpunan kontinu menjadi sejumlah himpunan terpisah. Misalnya, kita dapat memasukkan lereng 0° hingga 1° dalam kategori A, lereng lebih besar dari 1° hingga 3° dalam kategori B, dan seterusnya.

14.1.6 Paradigma Penyimpanan untuk Data Areal

Sekarang kita beralih untuk melihat secara spesifik berbagai struktur data yang digunakan oleh ArcGIS. Merepresentasikan “objek hampir nol dimensi” (mis. meteran parkir) dan “objek pada dasarnya satu dimensi” (mis., sungai sempit) relatif sederhana. Jika sebuah objek, untuk

tujuan praktis kita, hanyalah satu titik maka pasangan koordinat tunggal yang sederhana sudah cukup. Jika fitur dapat diwakili oleh urutan segmen garis, maka urutan pasangan koordinat yang berguna. Merepresentasikan area, bagaimanapun, adalah masalah yang jauh lebih mudah.

14.2 Basis Fundamental Mode Data Geografis

Gambar ini adalah ortofotoquad yang menunjukkan gambar sepotong permukaan bumi. Gambar ini menunjukkan rumah, ruang hijau, gudang, jalan, pohon, rel kereta api, tempat parkir, jalur pacuan kuda, dan sebagainya. Misalkan Anda diberi tugas untuk menentukan luas yang ditempati oleh masing-masing tipe fitur: x kaki persegi perumahan, y kaki persegi jalan raya, dan seterusnya. Informasi tentang di mana berbagai penggunaan lahan ini juga harus dicari. Misalkan itu terjadi di tahun 1960 dan Anda memiliki komputer yang dapat digunakan untuk proyek tersebut. Jika Anda menggunakan komputer, majikan Anda bersikeras bahwa apa pun yang Anda simpan di komputer tersebut dapat diverifikasi oleh orang lain.

Pendekatan apa yang akan Anda ambil? Pada dasarnya, untuk menggunakan komputer, Anda harus mengubah "gambar" menjadi angka dan simbol (yang akan diubah komputer menjadi bit). Untuk tema tertentu (seperti tutupan lahan), angka dan simbol ini harus menjawab dua pertanyaan sekaligus:

- APA? (entitas atau kuantitas)
- DIMANA?

Berikut adalah pendekatan yang telah ditemukan oleh orang lain:

- Bagilah secara sistematis keseluruhan area secara teratur menjadi sejumlah besar subarea yang berukuran sama (mis., kotak kecil). Catat apa yang ada di setiap subarea. Gunakan skema referensi sehingga Anda tahu di mana setiap subarea berada. Teknik ini termasuk dalam kategori luas yang disebut raster (atau kisi atau sel). Hampir selalu, raster dapat dilihat sebagai ruang persegi panjang yang terdiri dari baris dan kolom. Sel tertentu berada di persimpangan baris dan kolom tertentu.
- Gambarkan secara lengkap setiap fitur. “Menggambarkan,” dalam hal ini, adalah penggambaran fisik yang nyata. Artinya: pada bidang dua dimensi, gambarlah serangkaian segmen garis lurus di sekitar setiap area. Kembangkan metode untuk menentukan di mana letak garis dan untuk memberikan arah pada setiap segmen. Ini sering disebut sebagai pendekatan vektor, karena segmen garis lurus yang memiliki arah disebut vector.
- Hanya untuk membuang tipe dasar dari metode penyimpanan GIS, meskipun itu tidak membantu menyelesaikan masalah khusus ini: Bagilah permukaan yang berada di atas (atau di bawah, atau keduanya) area yang diinginkan menjadi segitiga tidak beraturan. Kecuali untuk pinggirannya, setiap segitiga berbagi sisi dan simpul dengan segitiga yang berdekatan. Segitiga tersebut mendekati tinggi permukaan (misalnya ketinggian), kemiringan, dan arah (misalnya, aspek). Jenis kumpulan data ini dikenal sebagai jaringan triangulasi tak beraturan, atau TIN, yang Anda temui secara singkat di bab sebelumnya.

14.2.1 Standar Data Spasial

Standar data spasial dapat didefinisikan sebagai metode untuk menyusun, mendeskripsikan, dan menyampaikan data yang bereferensi spasial. Standar data spasial dapat dikategorikan menjadi empat bidang: standar media, standar format, standar akurasi, dan standar

dokumentasi. Semuanya penting, meskipun dua yang terakhir secara substansial lebih kompleks daripada dua yang pertama.

Standar media mengacu pada bentuk fisik di mana data ditransfer. Mereka menentukan format khusus untuk CD-ROM, pita magnetik, penyimpanan optik atau solid state, atau beberapa drive berpemilik atau jenis media lainnya. Format standar ditentukan oleh Organisasi Standar Internasional (ISO).

Standar format menentukan komponen dan struktur file data. Standar format menetapkan jumlah file yang digunakan untuk menyimpan kumpulan data spasial, serta komponen dasar yang terkandung dalam setiap file. Urutan, ukuran, dan rentang nilai untuk elemen data yang terdapat dalam setiap file ditentukan. Informasi seperti spasi, tipe variabel, dan pengkodean file dapat disertakan.

Standar format membantu tugas praktis mentransfer data antara sistem komputer, baik di dalam atau di antara organisasi. Produsen dan pengguna tidak boleh menggunakan perangkat keras atau perangkat lunak GIS yang sama. Pertukaran antara sistem perangkat lunak yang berbeda dibantu oleh bentuk standar umum di mana data dapat dikirimkan.

Banyak format pemerintah atau vendor telah didukung secara luas karena data biasanya dikirimkan menggunakan format tersebut. Format ini menentukan logika, format, dan pengkodean untuk raster, vektor, dan transfer data topologi data spasial. Shapefile ESRI (kumpulan file termasuk .shp, .shx, dan .dbf) adalah format vektor yang umumnya didukung, dan banyak organisasi mentransfer data menggunakan format tersebut. File gambar dalam format .img pertama kali dikembangkan oleh ERDAS, paket perangkat lunak penginderaan jauh awal, dan didukung secara luas, dan geodatabase ESRI menjadi bentuk umum pengiriman data. Format kepemilikan ini tidak benar-benar standar karena format dapat diubah oleh vendor yang membuatnya, bentuknya tidak disetujui oleh badan standarisasi, dan ada beberapa interpretasi tentang cara penerapannya, sehingga sering kali tidak ada transparansi dan karenanya interoperabilitas.

Standar akurasi data spasial mendokumentasikan kualitas posisi dan nilai atribut yang disimpan dalam kumpulan data spasial. Pengetahuan tentang kualitas data sangat penting untuk penggunaan GIS yang efektif, tetapi kita sering lalai dalam penilaian dan pelaporan kualitas data spasial. Banyak dari kita terbiasa menggambar peta. Kami menerima data yang salah atau digeneralisasi karena fitur peta konsisten secara logis. Kita tahu lebar jalan tidak diplot pada skala peta, bangunan mungkin diimbangi, dan item dikelompokkan. Kami mengizinkan ketidakjelasan tertentu dalam posisi geografis relatif dan absolut dari objek di peta.

Meskipun kami biasanya tidak mentransfer filosofi ini ke data spasial digital kami, kami sering kurang memperhatikan mendokumentasikan akurasi data spasial daripada yang seharusnya. Hal ini sebagian disebabkan oleh biaya memperkirakan kesalahan dalam set data spasial kami secara memadai. Pengambilan sampel di lapangan cukup mahal, dan kami tergoda untuk mengeluarkan dana tambahan untuk mengumpulkan data tambahan. Produksi dan analisis data sering kali didorong ke batas waktu atau uang yang tersedia, dan dokumentasi keakuratan data mungkin kurang diperhatikan. Kepatuhan terhadap standar akurasi data spasial memastikan kami menilai dan mengomunikasikan kualitas data spasial dengan cara yang jelas dan mapan.

Standar dokumentasi menentukan bagaimana kita menggambarkan data spasial. Data berasal dari seperangkat pengukuran asli yang diambil oleh individu atau organisasi tertentu pada waktu tertentu. Data mungkin telah dimanipulasi atau entah bagaimana diubah, dan data disimpan dalam beberapa format. Standar dokumentasi data adalah cara yang disepakati untuk menggambarkan sumber, perkembangan, dan bentuk data spasial. Ketika standar dokumentasi digunakan, mereka memastikan deskripsi lengkap tentang asal data, metode pengembangan, akurasi, dan format pengiriman. Dokumentasi standar memungkinkan pengelola data untuk memelihara data, dan standar ini memungkinkan setiap pengguna potensial untuk menilai kesesuaian data ini untuk tugas yang dimaksudkan.

Standar kualitas data menggambarkan bagaimana data kita memiliki nilai lebih ketika kita menggunakan standar. Ada banyak cara untuk menggambarkan kualitas data, termasuk kesalahan jarak rata-rata, kesalahan jarak terbesar, persentase titik yang berada di atas ambang batas kesalahan, atau total area yang salah diklasifikasikan. Kesalahan atribut juga dapat dijelaskan dengan berbagai cara. Produser dapat menggambarkan kualitas data spasial dalam satu cara, tetapi ini mungkin tidak memungkinkan pengguna untuk menilai apakah data tersebut dapat diterima untuk aplikasi yang dimaksud. Standar kualitas data menjadi akrab melalui penggunaan. Kami mungkin mengetahui tingkat kesalahan rata-rata yang mungkin menghasilkan data yang tidak dapat diterima. Standar ini memungkinkan kita untuk membandingkan dua set data berdasarkan pengalaman masa lalu ini.

14.2.2 Akurasi Data

Pengamatan yang akurat mencerminkan bentuk, lokasi, atau karakteristik sebenarnya dari fenomena yang diwakili dalam SIG. Ketika konsep akurasi diterapkan pada variabel spasial, itu adalah ukuran seberapa sering atau seberapa banyak nilai data kita salah. Akurasi dapat dilaporkan sebagai frekuensi, misalnya, ketika kami melaporkan bahwa 20% dari kelas tutupan lahan yang diberi label sebagai lahan pertanian sebenarnya adalah rumput abadi. Atau, akurasi dapat dinyatakan sebagai besaran kesalahan rata-rata; misalnya, tiang lampu dapat dipindahkan rata-rata 12,4 m dari lokasi sebenarnya.

Data spasial selalu mengandung beberapa kesalahan. Kesalahan dapat disebabkan oleh cara kami mengkonseptualisasikan fitur, metode pengumpulan dan analisis data kami, kesalahan manusia, atau data mungkin sudah ketinggalan zaman. Masing-masing menyebabkan perbedaan antara realitas dan representasi data spasial kami.

Ketidakcukupan dalam model data spasial kami adalah penyebab umum kesalahan data spasial. Saat kami menggunakan kumpulan data raster dengan ukuran sel tetap, kami telah menetapkan batas akurasi posisi kami. Dengan menggunakan model raster, kita dapat menemukan objek dengan rata-rata tidak lebih baik dari setengah resolusi sel. Model raster mengasumsikan piksel homogen. Jika lebih dari satu kategori atau nilai untuk suatu variabel ditemukan dalam piksel, maka nilai atribut mungkin salah. Pertimbangkan layer data raster yang berisi data penggunaan lahan dan dimensi sel 100 m. Sebidang kayu kecil yang berukuran kurang dari satu setengah ha mungkin tidak terwakili jika ditanam di lingkungan perkotaan atau pertanian – terlalu kecil sehingga dapat “disertakan” sebagai bagian dari penggunaan lahan di sekitarnya. Kesalahan "generalisasi" atau "penyertaan" ini juga dapat terjadi pada kumpulan data vektor. Fitur apa pun yang lebih kecil dari unit pemetaan minimum mungkin tidak ditampilkan.

Kumpulan data vektor mungkin kurang mewakili perubahan bertahap, sehingga dapat terjadi peningkatan kesalahan atribut di dekat batas vektor. Data tanah digital sering disajikan dalam

model data vektor, namun batas antara jenis tanah seringkali tidak diskrit, tetapi berubah pada zona beberapa hingga beberapa meter.

Gambar 14.2 Data spasial mungkin salah karena berlalunya waktu. Peta jalan berdasarkan foto tahun 1936 (kiri) dari kota Bellevue, Washington, kemungkinan besar salah pada tahun 1997 (kanan). (milik Departemen Sumber Daya Alam Washington).

Kesalahan sering terjadi selama pengumpulan data spasial. Banyak data posisi saat ini dikumpulkan menggunakan teknologi GNSS. Ketidakpastian spasial dalam posisi dimasukkan ke dalam data posisi. Lokasi fitur yang berasal dari peta digital atau foto udara juga mengandung kesalahan posisi karena kekurangan optik, mekanik, dan manusia. Lensa, kamera, atau pemindai dapat mendistorsi gambar, kesalahan posisi dapat terjadi selama pendaftaran, atau kesalahan dapat menjadi bagian dari proses digitalisasi. Kesalahan, kelelahan, atau perbedaan di antara operator dalam kemampuan atau sikap dapat mengakibatkan ketidakpastian posisi.

Akurasi data spasial dapat menurun selama pemrosesan laboratorium atau reduksi data. Kesalahan penyalinan selama transkripsi catatan lapangan, kesalahan selama entri keyboard, atau kesalahan selama manipulasi data dapat mengubah nilai koordinat yang digunakan untuk mewakili fitur data spasial. Representasi yang tidak tepat di komputer dapat menyebabkan masalah, seperti kesalahan pembulatan saat mengalikan angka besar. Kesalahan ini ditambah kesalahan atau teknik laboratorium yang tidak tepat juga dapat mengubah nilai atribut dan menimbulkan kesalahan.

Data mungkin juga salah karena perubahan sepanjang waktu (Gambar 14-2). Dunia itu dinamis, sementara representasi kami dalam kumpulan data spasial sering kali menangkap snapshot pada saat pengumpulan data. Batas vegetasi dapat diubah oleh kebakaran, penebangan, konstruksi, konversi ke pertanian, atau sejumlah gangguan manusia atau alam lainnya. Bahkan dalam kasus di mana posisi statis, atribut dapat berubah seiring waktu. Jalan kerikil dua lajur mungkin diaspal atau diperlebar, menyebabkan atribut menjadi salah. Layer harus memiliki interval pembaruan yang direkomendasikan yang dapat bervariasi menurut jenisnya. Ketinggian, geologi, dan tanah mungkin jarang diperbarui, dan masih mempertahankan

keakuratannya. Vegetasi, populasi, penggunaan lahan, atau faktor lain berubah dengan kecepatan yang lebih cepat, dan harus diperbarui lebih sering jika ingin tetap akurat.

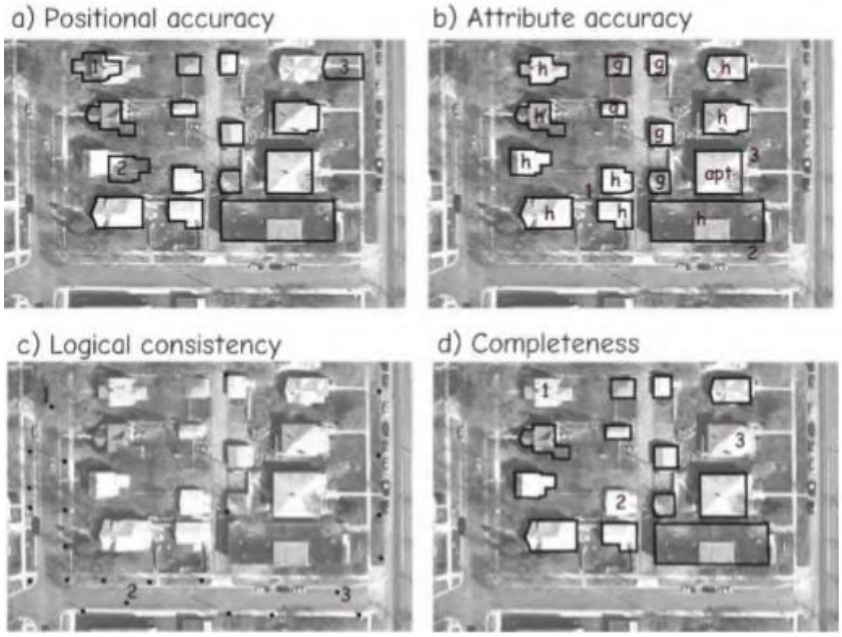
14.2.3 Mendokumentasikan Akurasi Data Spasial

Kita harus secara jelas mengidentifikasi kondisi sebenarnya jika kita ingin mendokumentasikan akurasi data spasial. Misalnya, segmen jalan mungkin diaspal seluruhnya, atau tidak. Rekaman data untuk segmen jalan tersebut akurat jika menggambarkan permukaan dengan benar, dan tidak akurat jika tidak. Namun, dalam banyak kasus kebenarannya tidak sepenuhnya diketahui. Lokasi untuk jalan di atas dapat disurvei dengan tepat menggunakan metode GNSS fase pembawa terbaru. Garis tengah jalan dan persimpangan dapat diketahui hingga 0,5 cm terdekat. Meskipun ini adalah kesalahan yang sangat kecil, ini mewakili beberapa ambiguitas dalam apa yang kami anggap sebagai kebenaran. Menetapkan keakuratan kumpulan data mengharuskan kita mengetahui keakuratan ukuran kebenaran kita. Dalam kebanyakan kasus, kebenaran didefinisikan berdasarkan beberapa pengukuran independen yang lebih tinggi. Dalam contoh jalan kami, kami mungkin menginginkan agar layer data kami akurat hingga 15 m atau lebih baik. Diukur pada skala ini, akurasi 0,5 cm dari pengukuran GNSS fase pembawa kami dapat dianggap benar.

Ada empat cara utama untuk menggambarkan akurasi data spasial: akurasi posisi, akurasi atribut, konsistensi logis, dan kelengkapan (Gambar 14-3). Keempat komponen ini dapat dilengkapi dengan informasi tentang garis keturunan kumpulan data untuk menentukan akurasi dan kualitas kumpulan data. Komponen-komponen ini dijelaskan secara berurutan di bawah ini.

Akurasi posisi menggambarkan seberapa dekat lokasi objek yang diwakili dalam kumpulan data digital sesuai dengan lokasi sebenarnya untuk entitas dunia nyata. Dalam praktiknya, kebenaran ditentukan dari beberapa teknologi penentuan posisi tingkat tinggi.

Akurasi atribut merangkum betapa berbedanya atribut dari nilai sebenarnya. Akurasi atribut biasanya dilaporkan sebagai kesalahan rata-rata atau kuantil di atas kesalahan ambang batas untuk atribut yang diukur pada skala interval/rasio, dan sebagai persentase atau proporsi yang akurat untuk atribut ordinal atau kategorikal.



Gambar 14.3 Contoh kesalahan dari berbagai jenis. Gambar ini menunjukkan fitur digital (garis atau titik) yang dilapiskan pada foto udara sumber. Kesalahan diberi label dengan angka. Di a rumah berlabel 1, 2, dan 3 menderita ketidakakuratan posisi, sedangkan b menunjukkan akurasi atribut di garasi di 1 diberi label sebagai rumah, dan 2 dan 3 menunjukkan apartemen dan rumah salah label. Panel c menunjukkan bahwa data mungkin tidak konsisten secara logis, dengan tiang lampu di lokasi 1, 2, dan 3 di jalan, dan d menunjukkan bahwa data mungkin kurang lengkap, dengan rumah 1, 2, dan 3 tidak didigitalkan, seperti yang ditunjukkan oleh garis besar yang hilang.

Konsistensi logis mencerminkan ada, tidaknya, atau frekuensi data yang tidak konsisten. Pengujian konsistensi logis seringkali memerlukan perbandingan antar tema, misalnya, semua jalan terjadi di lahan kering. Ini berbeda dari akurasi posisi karena baik jalan maupun lokasi danau mungkin mengandung kesalahan posisi. Namun, kesalahan ini tidak menyebabkan penjajaran yang tidak mungkin atau tidak logis. Konsistensi logis juga dapat diterapkan pada atribut, misalnya, tanah lahan basah yang salah dicantumkan sebagai cocok untuk konstruksi, atau danau dengan kedalaman nol.

Kelengkapan menggambarkan seberapa baik kumpulan data menangkap semua fitur yang dimaksudkan untuk diwakili. Layer data bangunan dapat menghilangkan struktur tertentu, dan frekuensi penghilangan ini mencerminkan kumpulan data yang tidak lengkap.

Kumpulan data mungkin tidak lengkap karena generalisasi selama produksi peta atau digitalisasi. Misalnya, unit pemetaan minimum dapat ditetapkan pada 2 ha saat menyusun peta vegetasi. Padang rumput kecil yang terisolasi yang tersebar di seluruh hutan mungkin tidak terwakili karena hanya sedikit lebih besar dari unit pemetaan minimum ini, dan secara keliru mereka tidak terwakili dalam layer data. Kelengkapan sering mengacu pada seberapa baik atau sering kumpulan data berisi fitur-fitur yang dimaksudkan untuk diwakili. Dalam contoh kita di atas, kelengkapan akan menentukan seberapa sering fitur yang berukuran lebih dari 2 ha disertakan dalam kumpulan data.

Silsilah menggambarkan sumber, metode, waktu, dan orang yang bertanggung jawab untuk pengembangan kumpulan data. Garis keturunan membantu menetapkan batasan pada ukuran akurasi lain yang dijelaskan di atas, karena pengetahuan tentang sumber data primer tertentu membantu menentukan keakuratan kumpulan data.

Akurasi paling andal ditentukan oleh perbandingan nilai sebenarnya dengan nilai yang diwakili dalam kumpulan data spasial. Ini mengharuskan kami mengumpulkan data di lokasi sampel yang memadai. Nilai "benar" dikumpulkan di lokasi sampel ini. Nilai yang sesuai dikumpulkan untuk data spasial digital. Nilai benar dan data dibandingkan, kesalahan dihitung, dan statistik ringkasan dihasilkan.

Sumber kebenaran kami, metode pengambilan sampel, metode kami untuk menghitung kesalahan, dan statistik ringkasan yang kami pilih akan bergantung pada jenis data spasial yang akan dievaluasi. Data posisi akan dinilai menggunakan metode yang berbeda dari data atribut. Data atribut nominal, misalnya, jenis tutupan lahan, akan dinilai secara berbeda dari pengukuran yang direkam pada rentang kontinu, misalnya, kandungan nitrogen tanah.

14.2.4 Akurasi Posisi

Akurasi posisi mengukur seberapa dekat representasi database suatu objek dengan nilai sebenarnya. Posisi yang akurat memiliki kesalahan kecil. Kecil didefinisikan secara subjektif, tetapi setidaknya dapat diukur.

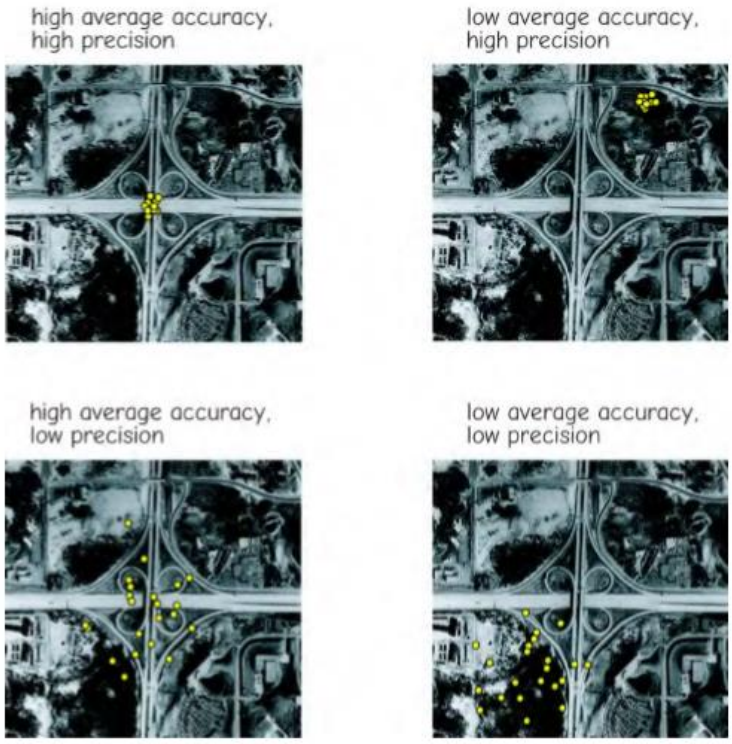
Presisi mengacu pada konsistensi metode pengukuran. Presisi biasanya didefinisikan dalam hal seberapa tersebar serangkaian pengukuran berulang dari pengukuran rata-rata. Sistem pengukuran yang tepat memberikan hasil yang padat. Digitalisasi yang tepat berarti kita dapat berulang kali menempatkan titik di lokasi yang sama.

Akurasi dan presisi sering dikacaukan, tetapi keduanya adalah dua karakteristik yang berbeda, keduanya diinginkan, yang dapat berubah secara independen. Satu set pengukuran mungkin tepat tetapi tidak akurat. Pengukuran berulang mungkin terkelompok dengan baik, artinya tepat, tetapi mungkin tidak mendekati nilai sebenarnya, yang berarti tidak akurat. Bias mungkin ada, didefinisikan sebagai offset sistematis dalam nilai koordinat. Proses yang kurang tepat akan menghasilkan sekumpulan titik yang tersebar lebih luas. Namun, kesalahan rata-rata mereka mungkin jauh lebih sedikit, oleh karena itu set lebih akurat.

Gambar 14-4 mengilustrasikan perbedaan antara akurasi dan presisi. Empat sesi digitalisasi ditampilkan. Tujuannya adalah untuk menempatkan beberapa titik di tengah persimpangan daun semanggi pada Gambar 14-4. Panel kiri atas menunjukkan proses digitalisasi yang akurat dan presisi. Titik, ditampilkan sebagai lingkaran putih, dikelompokkan dengan rapat dan akurat di atas lokasi yang diinginkan.

Panel kanan atas Gambar 14-4 menunjukkan titik-titik yang ditempatkan dengan tepat (berkelompok rapat), tetapi tidak ditempatkan secara akurat. Ini mungkin karena kegagalan peralatan atau masalah dalam pendaftaran; operator mungkin telah membuat beberapa kesalahan dalam pendaftaran foto dan memperkenalkan bias.

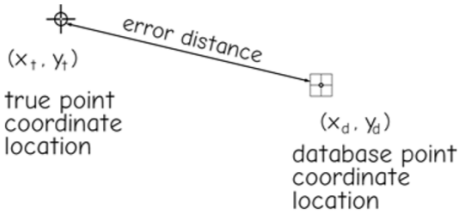
Panel kiri bawah Gambar 14-4 menunjukkan titik-titik yang didigitalkan secara akurat tetapi tidak tepat. Rata-rata lokasi titik-titik tersebut cukup dekat dengan posisi yang diinginkan, yaitu pusat perpotongan daun semanggi, meskipun titik-titik individu tersebar luas. Titik-titik ini tidak terlalu dekat dengan nilai rata-rata sehingga presisinya rendah, meskipun akurasinya tinggi. Peralatan sensitif, operator dengan tangan goyah, atau malfungsi peralatan semuanya dapat mengakibatkan situasi ini.



Gambar 14.4 Akurasi dan presisi. Titik (lingkaran putih) didigitalkan untuk mewakili pusat persimpangan semanggi. Akurasi rata-rata tinggi ketika rata-rata titik jatuh di dekat lokasi sebenarnya, seperti pada panel di sisi kiri gambar. Presisi tinggi ketika semua titik berkumpul di dekat satu sama lain (panel atas). Sekelompok titik mungkin akurat, tetapi tidak tepat (kiri bawah), atau tepat, tetapi tidak akurat (kanan atas). Kami biasanya mengupayakan proses yang memberikan akurasi dan presisi (kiri atas), dan menghindari akurasi rendah dan presisi rendah (kanan bawah).

Panel di kanan bawah Gambar 14-4 menunjukkan titik-titik dengan posisi yang tidak tepat dan tidak akurat. Nilai rata-rata tidak dekat dengan lokasi sebenarnya, juga nilai-nilainya tidak berkerumun secara ketat.

Ambang batas yang merupakan akurasi atau presisi tinggi sering kali didefinisikan secara subjektif. Seorang duffer mungkin menganggap tembakan golf apa pun yang mendarat di green sama akuratnya. Definisi akurasi ini mungkin didasarkan pada ribuan upaya sebelumnya. Namun, untuk pegolf profesional, apapun yang lebih jauh dari 2 m dari lubang mungkin merupakan pukulan yang tidak akurat. Dengan cara yang sama, persyaratan akurasi spasial yang tinggi untuk surveyor tanah mungkin berbeda dari manajer tanah federal. Survei kadaster membutuhkan akurasi yang tinggi karena orang cenderung marah ketika ada pelanggaran permanen material, seperti ketika tetangga membangun garasi di tanah mereka. Akurasi yang lebih rendah dapat diterima di aplikasi lain; misalnya, peta seluruh negara bagian yang mendefinisikan jenis vegetasi mungkin dapat diterima meskipun batas-batasnya berjarak puluhan meter.



$$\text{error distance} = \sqrt{(x_t - x_d)^2 + (y_t - y_d^2)}$$

Gambat 14.5 Kesalahan posisi diukur dengan jarak Pythagoras antara koordinat benar dan Database untuk suatu lokasi.

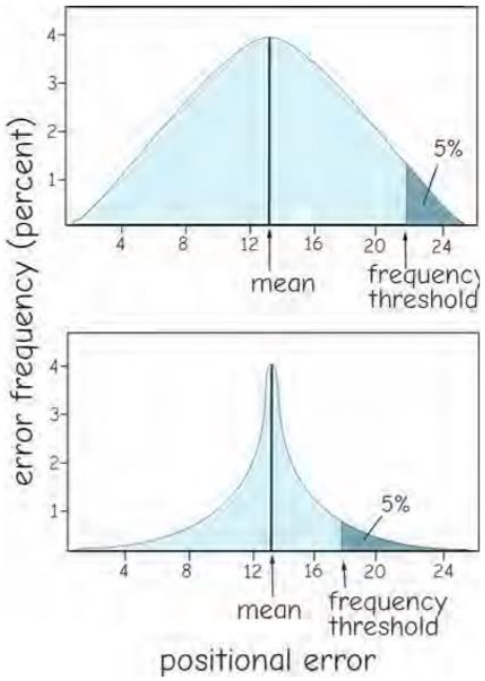
Kesalahan rata-rata dan ambang frekuensi kesalahan adalah statistik yang paling sering digunakan untuk mendokumentasikan akurasi data posisi. Pertimbangkan satu set sumur yang direpresentasikan sebagai fitur titik dalam layer data spasial. Misalkan setelah kami mendigitalkan lokasi sumur kami, kami mendapatkan akses ke sistem GNSS yang secara efektif memberi kami lokasi koordinat sebenarnya untuk setiap sumur. Kami kemudian dapat membandingkan lokasi sumur ini dengan lokasi koordinat di database kami. Kita mulai dengan menghitung jarak antara koordinat true dan database kita untuk setiap sumur. Ini meninggalkan kita dengan daftar kesalahan, satu terkait dengan setiap lokasi sumur (Gambar 14-5). Jarak diukur menggunakan rumus Pythagoras dengan koordinat benar dan Database. Jarak selalu positif karena bentuk rumusnya.

Kita dapat menghitung kesalahan rata-rata dengan menjumlahkan kesalahan dan membagi jumlah dengan jumlah pengamatan. Ini memberi kami kesalahan rata-rata kami, statistik yang

berguna di suatu tempat di dekat titik tengah kesalahan kami. Kami sering tertarik pada distribusi kesalahan kami, jadi kami juga biasanya menggunakan histogram frekuensi untuk meringkas kesalahan spasial kami. Histogram adalah grafik jumlah pengamatan kesalahan dengan rentang nilai kesalahan, misalnya, jumlah nilai kesalahan antara 0 dan 1, antara 1 dan 2, antara 2 dan 3, dan seterusnya untuk semua pengamatan kita. Grafik akan menunjukkan kesalahan terbesar dan terkecil, dan juga memberikan beberapa indikasi kesalahan rata-rata dan paling umum.

Contoh distribusi frekuensi kesalahan untuk dua set data yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 14-6. Setiap plot menunjukkan frekuensi kesalahan di berbagai jarak kesalahan. Misalnya, grafik atas menunjukkan bahwa kira-kira 1 kesalahan dalam 100 memiliki nilai mendekati 4,5 m, dan kesalahan rata-rata mendekati 13 m.

Nilai kesalahan rata-rata tidak menunjukkan distribusi, atau penyebaran kesalahan. Dua kumpulan data mungkin memiliki rata-rata kesalahan yang sama tetapi satu mungkin lebih rendah; kumpulan data mungkin memiliki kesalahan yang lebih besar. Grafik bawah pada Gambar 14-6 memiliki kesalahan rata-rata yang sama, 13 m, seperti grafik atas. Perhatikan bahwa galat memiliki distribusi yang lebih sempit, yang berarti galat mengelompok lebih dekat ke rata-rata daripada di grafik atas, dan ada lebih sedikit galat besar. Meskipun rata-rata kesalahannya sama, banyak yang akan menganggap data yang direpresentasikan dalam grafik bawah Gambar 14-6 lebih akurat.



Gambar 14.6 Kesalahan rata-rata dan ambang frekuensi sering digunakan untuk melaporkan kesalahan posisi. Area abu-abu yang diarsir tipis mewakili 95% data.

Karena statistik rata-rata saja tidak memberikan informasi tentang distribusi kesalahan posisi, ambang frekuensi kesalahan dapat dilaporkan. Ambang frekuensi kesalahan adalah nilai di atas atau di bawah proporsi pengamatan kesalahan yang terjadi. Gambar 14-6 menunjukkan ambang frekuensi 95% untuk dua distribusi kesalahan. Ambang batas ditempatkan sedemikian rupa sehingga 95% kesalahan lebih kecil dari ambang batas dan sekitar 5% lebih besar dari ambang batas. Grafik atas menunjukkan ambang batas frekuensi 95% sekitar 21,8

m. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar 95% dari posisi yang diuji dari sampel database spasial kurang dari atau sama dengan 21,8 m dari lokasi sebenarnya. Panel bawah pada Gambar 14-6 memiliki ambang frekuensi 95% pada 17,6 m. Ini berarti 5% dari kesalahan dalam database kedua yang diuji lebih besar dari 17,6 m dari lokasi sebenarnya. Jika kita memperhatikan frekuensi kesalahan besar, ini mungkin merupakan statistik ringkasan yang lebih baik daripada kesalahan rata-rata.

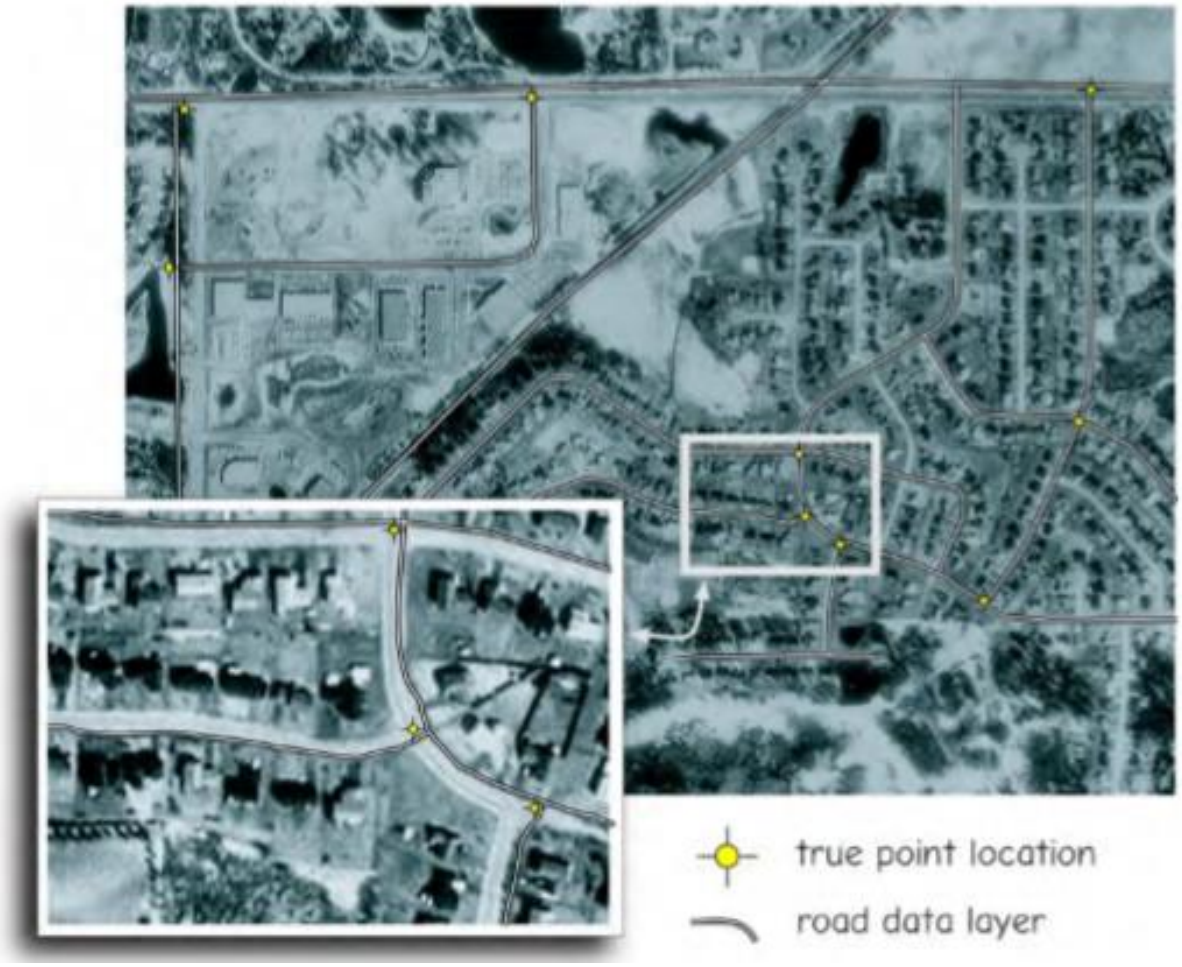
14.2.5 Metode Standar untuk Mengukur Akurasi Posisi

Komite Data Geografis Federal Amerika Serikat (FGDC) telah menjelaskan standar untuk mengukur dan melaporkan kesalahan posisi. Mereka melakukannya karena akurasi posisi merupakan karakteristik penting dari setiap kumpulan data digital, dan ada kebutuhan akan kosakata dan metode standar untuk mendokumentasikan akurasi spasial. Standar ini dikenal sebagai Standar Nasional Keakuratan Data Spasial (NSSDA). NSSDA menentukan jumlah dan distribusi titik sampel saat melakukan penilaian akurasi, dan menentukan metode statistik yang digunakan untuk meringkas dan melaporkan kesalahan posisi. Metode terpisah dijelaskan untuk penilaian akurasi horizontal (x dan y) dan penilaian akurasi vertikal (z), meskipun metodenya berbeda terutama dalam perhitungan statistik akurasi ringkasan. Ada lima langkah dalam menerapkan NSSDA:

- Mengidentifikasi satu set titik uji dari set data digital di bawah pengawasan;
- Mengidentifikasi set data atau metode dari mana nilai "benar" akan ditentukan;
- Kumpulkan pengukuran posisi dari titik uji seperti yang dicatat dalam set data uji dan "benar".
- Menghitung kesalahan posisi untuk setiap titik uji dan meringkas akurasi posisi untuk kumpulan data uji dalam statistik akurasi standar;
- Catat statistik akurasi dalam bentuk standar. Sertakan juga deskripsi nomor sampel, kumpulan data sebenarnya, keakuratan kumpulan data yang sebenarnya, dan metode yang digunakan untuk mengembangkan dan menilai keakuratan kumpulan data yang sebenarnya.

Titik uji harus dapat diidentifikasi dengan jelas baik dalam kumpulan data uji maupun dalam kumpulan data kebenaran. Poin yang tepat, didefinisikan dengan jelas adalah yang terbaik. Misalnya, kami mungkin ingin mendokumentasikan keakuratan data jalan yang dikumpulkan dari sumber skala menengah dan diwakili oleh satu baris dalam layer digital. Persimpangan jalan sudut kanan lebih disukai daripada fitur lainnya karena posisi yang diwakili dalam database dapat ditentukan dengan tepat. Koordinat pusat tepat dari persimpangan jalan juga dapat ditentukan dari kumpulan data dengan akurasi yang lebih tinggi, misalnya, dari ortofotograf digital atau survei lapangan. Fitur jalan lainnya kurang sesuai untuk titik uji, termasuk persimpangan jalan pada sudut tumpul atau tikungan tajam, karena mungkin ada ketidakpastian substansial saat mencocokkan layer data dengan koordinat sebenarnya. Titik persimpangan jalan yang tumpul dapat dengan mudah diidentifikasi dalam layer data digital, namun titik yang sesuai pada ortofotograf mungkin sulit untuk ditentukan. Mencocokkan titik pada kurva bahkan lebih sulit.

Sumber posisi koordinat yang sebenarnya harus sesuai dengan spesifikasi akurasi minimum kami, atau setidaknya urutan besarnya lebih akurat daripada kesalahan. GNSS adalah sumber kebenaran yang umum, karena keakuratannya dapat ditentukan oleh peralatan dan metode pengumpulan, tetapi sumber kebenaran apa pun yang sesuai dengan persyaratan kami dapat diterima.

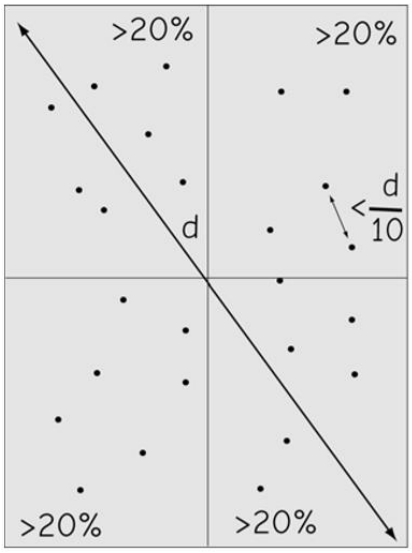


Gambar 14-7 menunjukkan contoh kumpulan titik uji untuk layer data jalan, dan latar belakang gambar. Pengetahuan sebelumnya mengarahkan kita untuk memperkirakan kesalahan rata-rata lebih dari 20 m. Dalam contoh ini, kami telah memilih gambar DOQ sebagai sumber data kami yang sebenarnya. Kita tahu koordinat turunan DOQ mencakup kesalahan rata-rata sekitar 2 m, dari metadata. DOQ dipilih karena memenuhi persyaratan akurasi kami dan tersedia untuk seluruh area kerja.

Tampilan lokasi jalan di atas DOQ menunjukkan ada perbedaan substansial dalam posisi sebenarnya dari fitur dan representasinya di layer data jalan. Setiap persimpangan sudut kanan adalah titik uji prospektif.

Sisipan di kiri bawah Gambar 14-7 menunjukkan lokasi titik sebenarnya relatif terhadap persimpangan jalan. Garis tengah jalan didigitalkan. Lokasi sebenarnya ini akan diidentifikasi pada DOQ, mungkin dengan mengarahkan kursor ke gambar georeferensi yang ditampilkan pada monitor komputer. Koordinat data kemudian akan diekstraksi untuk persimpangan jalan yang sesuai, dan kedua pasangan koordinat ini, x, y yang sebenarnya dan data x, y, akan menjadi salah satu titik uji yang digunakan dalam perhitungan akurasi.

NSSDA menetapkan antara 20 dan 30 titik uji yang terdistribusi dengan baik (Gambar 14-8). Titik uji harus didistribusikan secara merata ke seluruh layer data yang akan diuji. Setiap kuadran dari layer data yang diuji harus berisi setidaknya 20% dari titik uji, dan titik uji harus berjarak tidak lebih dekat dari sepersepuluh jarak rentang terpanjang untuk layer data yang diuji (d, pada Gambar 14-8).



Gambar 14.8 Pengambilan sampel yang direkomendasikan untuk akurasi data spasial. Sampel harus didistribusikan dengan baik dan ditempatkan dengan baik. (Diadaptasi dari LMIC, 1999).

14.2.6 Perhitungan Akurasi

Perhitungan akurasi poin dan ringkasan statistik adalah langkah selanjutnya dalam penilaian akurasi. Pertama, koordinat posisi true dan layer data untuk fitur dicatat. Koordinat ini digunakan untuk menghitung perbedaan posisi, yang dikenal sebagai kesalahan posisi, berdasarkan jarak antara koordinat sebenarnya dan koordinat layer data (Gambar 14-9). Ini adalah bagian dari inset gambar yang ditunjukkan pada Gambar 14-7. Koordinat sebenarnya berada di lokasi yang berbeda dari koordinat yang diturunkan dari layer data. Setiap titik uji menghasilkan jarak kesalahan e, ditunjukkan pada Gambar 14-9 dan didefinisikan oleh rumus:

$$e = \sqrt{(x_t + x_d)^2 + (y_t + y_d)^2}$$

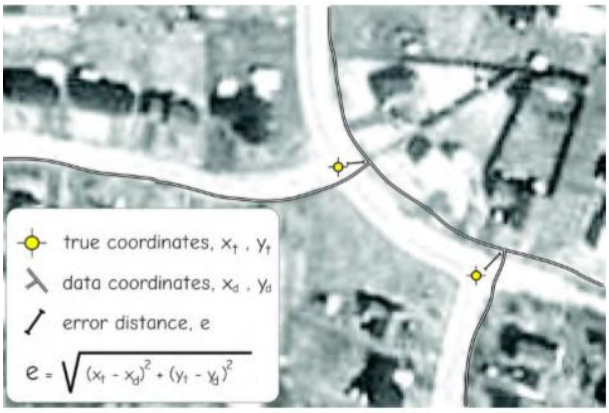
di mana xt, yt adalah koordinat sebenarnya dan xd, yd adalah koordinat layer data untuk suatu titik.

Perbedaan kesalahan kuadrat kemudian dihitung, dan statistik jumlah, rata-rata, dan akar rata-rata kuadrat kesalahan (RMSE) ditentukan untuk kumpulan data. Seperti yang didefinisikan sebelumnya dalam buku ini, RMSE adalah:

$$RMSE = \frac{\sqrt{e_1^2 + e_2^2} \dots e_n^2}{n}$$

di mana e didefinisikan seperti pada rumus 14.1 di atas, dan n adalah jumlah titik uji yang digunakan.

RMSE tidak sama dengan kesalahan jarak rata-rata, atau kesalahan jarak "tipikal". RMSE adalah statistik yang berguna dalam menentukan ambang probabilitas untuk kesalahan. RMSE terkait dengan varians statistik dari kesalahan posisi. Jika kita mengasumsikan kesalahan x dan y mengikuti kurva Gaussian berbentuk lonceng yang biasa diamati saat pengambilan sampel, maka RMSE memberi tahu kita sesuatu tentang distribusi kesalahan jarak. Kita dapat menggunakan pengetahuan tentang RMSE yang kita dapatkan dari sampel kita untuk menentukan apa kemungkinan kesalahan besar atau kecil. RMSE besar berarti kesalahan tersebar luas, dan RMSE kecil berarti kesalahan dikemas rapat di sekitar nilai rata-rata.



Gambar 14-9: Benar dan lokasi titik uji dalam penilaian akurasi. Lokasi benar dan titik uji tidak bertepatan. Perbedaan koordinat antara titik benar dan titik uji digunakan untuk menghitung jarak kesalahan.

Teori statistik memungkinkan kita untuk menetapkan angka tetap yang mengidentifikasi ambang kesalahan. Karena kita memiliki dua variabel, x dan y, jika kita membuat asumsi yang tepat, kita dapat memperbaiki ambang kesalahan pada nilai yang diberikan. Ambang batas kesalahan biasanya ditetapkan sebesar 95%. Saat kami memperbaiki ambang batas kesalahan 95%, ini berarti kami mengidentifikasi angka tertentu sehingga 95% kesalahan kami diharapkan kurang dari atau sama dengan ambang batas. Teori statistik memberi tahu kita bahwa ketika kita mengalikan RMSE dengan angka 1,7308 dan mengasumsikan distribusi normal Gaussian, kita memperoleh ambang 95%. Kami tidak akan membahas asumsi statistik dan perhitungan yang digunakan dalam menurunkan konstanta ini, atau teori di baliknya. Perawatan menyeluruh dapat ditemukan dalam referensi yang tercantum di akhir bab ini.

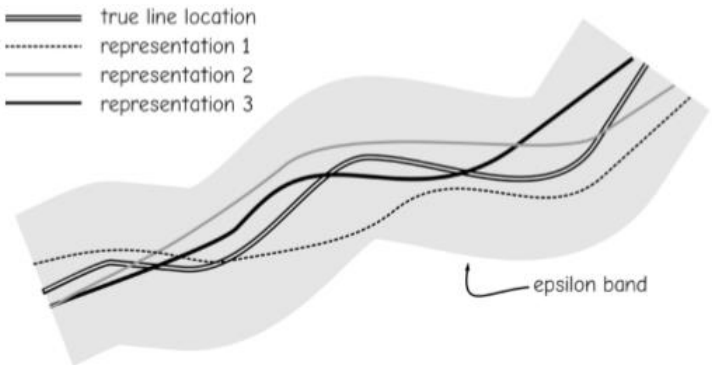
ID	x (true)	x (data)	x differ-ence	(x differ-ence)^2	y (true)	y (data)	y differ-ence	(y differ-ence)^2	sum x diff^2 + y diff^2
1	12	10	2	4	288	292	-4	16	20
2	18	22	-4	16	234	228	6	36	52
3	7	12	-5	25	265	266	-1	1	26
4	34	34	0	0	243	240	3	9	9
5	15	19	-4	16	291	287	4	16	32
6	33	24	9	81	211	215	-4	16	97
7	28	29	-1	1	267	271	-4	16	17
8	7	12	-5	25	273	268	5	25	50
9	45	44	1	1	245	244	1	1	2
10	110	99	11	121	221	225	-4	16	137
11	54	65	-11	121	212	208	4	16	137
12	87	93	-6	36	284	278	6	36	72
13	23	22	1	1	261	259	2	4	5
14	19	24	-5	25	230	235	-5	25	50
15	76	80	-4	16	255	260	-5	25	41
16	97	108	-11	121	201	204	-3	9	130
17	38	43	-5	25	290	288	2	4	29
18	65	72	-7	49	277	282	-5	25	74
19	85	78	7	49	205	201	4	16	65
20	39	44	-5	25	282	278	4	16	41
21	94	90	4	16	246	251	-5	25	41
22	64	56	8	64	233	227	6	36	100
								Sum	1227
								Average	55.8
								RMSE	7.5
								NSSDA	12.9

Tabel 14.1 : Tabel ringkasan penilaian akurasi.

Perhitungan akurasi dapat diringkas dalam tabel standar, yang ditunjukkan pada Tabel 14.1. Contoh menunjukkan penilaian akurasi posisi berdasarkan kumpulan 22 poin. Data untuk setiap titik diatur dalam baris. Koordinat layer data dan sebenarnya terdaftar, serta perbedaan dan perbedaan kuadrat untuk kedua arah koordinat x dan y. Perbedaan kuadrat dijumlahkan, dirata-ratakan, dan RMSE dihitung, seperti yang ditunjukkan pada kotak ringkasan di bagian kanan bawah Tabel 14-1. RMSE dikalikan dengan 1,7308 untuk memperkirakan tingkat akurasi 95%, terdaftar sebagai NSSDA. Sembilan puluh lima persen kesalahan horizontal yang sebenarnya diperkirakan kurang dari perkiraan tingkat akurasi 12,9 m yang tercantum dalam Tabel 14-1

14.2.7 Kesalahan dalam Fitur Linear atau Area

NSSDA seperti dijelaskan di atas hanya memperlakukan akurasi lokasi titik. Hal ini didasarkan pada pandangan probabilistik dari lokasi titik. Kami tidak yakin di mana setiap titik; namun, kita dapat menentukan jarak kesalahan r untuk sekumpulan fitur. Lingkaran berjari-jari r yang berpusat pada fitur titik di layer data spasial kami akan mencakup lokasi titik sebenarnya 95% dari waktu. Sayangnya, tidak ada standar yang ditetapkan untuk menggambarkan akurasi atau kesalahan fitur linier atau area.

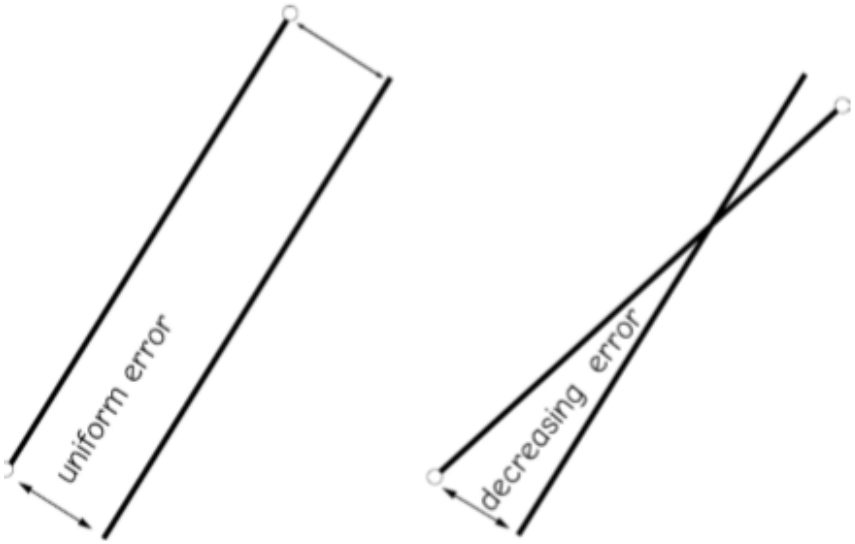


Gambar 14.10 Konsep band epsilon. Sebuah wilayah di kedua sisi garis ditentukan. Wilayah ini memiliki probabilitas tinggi untuk memuat garis yang benar. Beberapa representasi digital mungkin ada, misalnya, beberapa kali mencoba mendigitalkan garis. Representasi ini biasanya terletak di dalam pita epsilon.

Pekerjaan sebelumnya dalam kartografi dan GIS menggunakan konsep pita epsilon untuk mengkarakterisasi ketidakpastian dalam posisi garis. Pita epsilon dapat didefinisikan sebagai daerah di dekat garis yang memiliki probabilitas sangat tinggi untuk memuat garis tersebut (Gambar 14-10). Dalam pita epsilon ini lokasi garis tidak pasti. Konsep pita epsilon kongruen dengan model kesalahan posisi titik jika kita ingat bahwa sebagian besar data garis vektor dicatat sebagai urutan simpul dan simpul. Garis terdiri dari lokasi titik. Node dan vertex yang mendefinisikan lokasi garis mengandung beberapa kesalahan. Pita epsilon dapat dianggap memiliki probabilitas tinggi untuk mencakup segmen garis yang sebenarnya. Pita epsilon yang lebih besar dikaitkan dengan kualitas data yang lebih buruk, baik karena lokasi simpul dan simpul ditempatkan dengan buruk dan jauh dari lokasi garis sebenarnya, atau karena jarak simpul atau simpul terlalu lebar.

Dalam beberapa kasus, kami mungkin menganggap fitur titik yang terdefinisi dengan baik yang dijelaskan dalam uji akurasi kami di atas juga dapat mewakili akurasi untuk node dan simpul garis dalam layer data. Node atau vertex dapat digunakan sebagai titik uji, asalkan terdefinisi

dengan baik dan koordinat sebenarnya diketahui. Namun, kesalahan di lokasi intervensi tidak diketahui, misalnya, di tengah-tengah sepanjang segmen garis antara dua simpul. Kesalahan sepanjang segmen garis lurus mungkin paling banyak sama dengan kesalahan terbesar yang diamati pada ujung segmen garis. (Gambar 14-11). Jika segmen garis data sejajar dengan segmen garis sebenarnya, maka kesalahannya seragam di sepanjang segmen. Titik-titik yang menghasilkan garis konvergen atau bersilangan akan menyebabkan kesalahan titik tengah lebih kecil daripada kesalahan yang lebih besar dari dua kesalahan di titik akhir (Gambar 14-11). Pengamatan ini tidak benar jika segmen garis lurus digunakan untuk mendekati garis yang secara substansial melengkung. Namun, jika segmen garis cukup pendek (misalnya, interval sepanjang garis relatif kecil terhadap jari-jari kurva pada garis), dan kesalahan posisi didistribusikan secara merata di kedua sisi segmen garis, maka metode NSSDA dijelaskan di atas akan memberikan perkiraan batas atas pada kesalahan linier.



Gambar 14.11 Kesalahan untuk segmen garis lurus sama (kiri) atau kurang dari (kanan) kesalahan maksimum yang diamati pada titik akhir. Jika simpul atau simpul cukup dekat sehingga segmen garis sebenarnya mendekati linier, maka penilaian kesalahan pada simpul atau simpul dapat memberikan perkiraan kesalahan posisi garis.

14.2.8 Akurasi Atribut

Tidak seperti akurasi posisi, tidak ada standar nasional untuk mengukur dan melaporkan akurasi atribut. Akurasi untuk variabel kontinu dapat dihitung dengan cara yang analog dengan akurasi posisi. Akurasi untuk setiap pengamatan didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai sebenarnya dan Database. Satu set titik data uji dapat diidentifikasi, nilai atribut sebenarnya ditentukan untuk masing-masing titik data uji tersebut, selisihnya dihitung untuk setiap titik uji, dan akurasi diringkas.

Keakuratan data atribut kategoris dapat diringkas menggunakan kesalahan tabel dan statistik akurasi terkait. Poin dapat diklasifikasikan sebagai benar, yaitu, variabel kategori cocok dengan kategori sebenarnya untuk suatu fitur, atau mungkin salah. Pengamatan yang salah terjadi ketika nilai kategori true dan layer berbeda. Tabel kesalahan, juga dikenal sebagai matriks kesalahan, matriks kebingungan, dan tabel akurasi, adalah metode standar untuk melaporkan kesalahan dalam citra penginderaan jauh yang diklasifikasikan. Mereka lebih jarang digunakan untuk penilaian akurasi atribut kategoris.

true value

data layer attribute value	wheat	corn	soy	alfalfa	grass	fallow	
wheat	14	4			4		22
corn	2	12		1	3		18
soy	1		18	2			21
alfalfa		3	2	16	1		22
grass	3	1		1	12		17
fallow						20	20
	20	20	20	20	20	20	$\Sigma = 92$

$$\text{overall accuracy} = \frac{\text{sum of diagonal}}{\text{total number of samples}} = 92/120 = 76.7\%$$

Gambar 14.12 Tabel kesalahan secara ringkas merangkum akurasi atribut untuk variabel kategori.

Tabel kesalahan merangkum klasifikasi dua arah untuk satu set titik uji (Gambar 14-12). Variabel kategori akan memiliki jumlah kategori yang tetap. Kategori ini terdaftar di seluruh kolom dan di sepanjang baris tabel kesalahan. Setiap fitur pengujian dihitung dalam tabel kesalahan. Kategori sebenarnya dan nilai dalam layer data diketahui untuk setiap fitur pengujian. Fitur pengujian dihitung dalam tabel kesalahan berdasarkan nilai-nilai ini. Nilai sebenarnya dimasukkan melalui kolom yang sesuai dan nilai layer data dimasukkan melalui baris yang sesuai. Tabel berbentuk bujur sangkar, karena jumlah kategori pada baris dan kolomnya sama. Fitur yang diklasifikasikan dengan benar dihitung pada diagonal – nilai sebenarnya dan nilai layer data identik, sehingga dicatat di persimpangan kategori. Nilai kategori yang ditetapkan secara salah jatuh dari diagonal.

Tabel kesalahan merangkum karakteristik utama kebingungan di antara kategori. Elemen diagonal berisi fitur uji yang dikategorikan dengan benar. Jumlah diagonal adalah jumlah total yang benar. Proporsi yang benar adalah jumlah total yang benar dibagi dengan jumlah total yang diuji. Persentase benar dapat diperoleh dengan mengalikan proporsi benar dengan 100.

Akurasi per kategori dapat diambil dari tabel kesalahan. Dua jenis akurasi dapat dihitung, akurasi pengguna dan akurasi produsen. Pengguna bergantung pada layer data untuk menentukan kategori fitur. Pengguna paling sering tertarik pada seberapa sering fitur diberi label yang salah untuk setiap kategori. Akibatnya, pengguna ingin mengetahui berapa banyak fitur yang diklasifikasikan sebagai kategori (total baris) yang benar-benar dari kategori itu (elemen diagonal untuk baris itu). Dengan demikian, akurasi pengguna didefinisikan sebagai jumlah fitur yang ditetapkan dengan benar (elemen diagonal) dibagi dengan total baris untuk kategori tersebut. Produser, di sisi lain, mengetahui identitas sebenarnya dari setiap fitur dan sering kali tertarik pada seberapa sering fitur ini dimasukkan ke dalam kategori yang benar. Akurasi produser didefinisikan sebagai elemen diagonal dibagi dengan total kolom.

14.2.9 Kesalahan Propagasi dalam Analisis Spasial

Sementara kami telah membahas metode untuk menilai akurasi posisi dan atribut, kami belum menjelaskan bagaimana kami menentukan efek kesalahan input pada akurasi operasi spasial. Jelas, kesalahan input mempengaruhi nilai output di sebagian besar perhitungan. Kesalahan elevasi yang besar pada sel DEM kemungkinan akan menyebabkan kesalahan pada

nilai kemiringan. Jika kemiringan kemudian digabungkan dengan fitur lain dari layer data lain, kesalahan ini pada gilirannya dapat menyebar melalui analisis. Bagaimana kita menilai penyebaran kesalahan dan dampaknya terhadap analisis spasial?

Saat ini tidak ada metode umum yang diterapkan secara luas untuk menilai pengaruh kesalahan posisi pada model spasial. Penelitian saat ini diarahkan pada beberapa jalan yang menjanjikan; namun, kisaran variabel dan kondisi yang terlibat telah mengacaukan pengembangan metode umum untuk menilai dampak kesalahan posisi murni pada model spasial.

Beberapa pendekatan telah dikembangkan untuk memperkirakan dampak kesalahan atribut pada model spasial. Salah satu pendekatan melibatkan penilaian kesalahan dalam hasil akhir terlepas dari kesalahan dalam data asli. Misalnya, kita dapat mengembangkan model kartografi untuk memperkirakan kepadatan rusa di lingkungan pinggiran kota. Model dapat bergantung pada kepadatan perumahan, lokasi hutan, jenis dan luas, lokasi lahan basah, dan lokasi jalan dan volume lalu lintas. Masing-masing sumber data ini mungkin berisi kesalahan posisi dan atribut.

Pertanyaan mungkin muncul mengenai bagaimana kesalahan dalam data input kami memengaruhi prediksi model untuk kepadatan rusa. Daripada mencoba mengidentifikasi bagaimana kesalahan dalam input menyebar hingga mempengaruhi hasil model akhir, kami dapat memilih untuk melakukan penilaian kesalahan pada hasil akhir kami. Kami akan melakukan survei lapangan tentang kepadatan rusa dan membandingkan nilai yang diprediksi oleh model dengan nilai yang diamati di lapangan. Misalnya, kita mungkin membagi wilayah studi menjadi wilayah sensus yang saling eksklusif. Rusa mungkin dihitung di setiap daerah sensus dan kepadatannya dihitung. Kami telah mereplikasi nilai dari setiap daerah sensus, jadi kami dapat menghitung rata-rata dan varians, dan perbedaan antara nilai yang dimodelkan dan yang diamati dapat dibandingkan relatif terhadap variasi alami yang kami amati di antara daerah sensus yang berbeda. Kami juga dapat mensurvei suatu area melalui waktu, misalnya, pada hari, bulan, atau tahun berturut-turut, dan membandingkan perbedaan antara model dan nilai yang diamati untuk setiap waktu sampel.

Mungkin tidak mungkin atau diinginkan untuk menunggu untuk menilai akurasi sampai setelah menyelesaikan analisis spasial. Data masukan untuk analisis spasial tertentu mungkin mahal untuk dikumpulkan. Kita mungkin tidak ingin mengembangkan data dan model spasial jika kesalahan dalam input menghalangi output yang berguna. Setelah aplikasi model, kami mungkin ingin mengidentifikasi sumber kesalahan dalam prediksi akhir kami. Peningkatan dalam satu atau dua layer data dapat secara substansial meningkatkan kualitas prediksi kami; misalnya, data tutupan hutan yang lebih baik dapat meningkatkan akurasi prediksi kepadatan rusa kami.

Propagasi kesalahan dalam model spasial sering diselidiki dengan model berjalan berulang. Kami dapat menggunakan semacam model simulasi berulang yang menambahkan kesalahan ke layer data dan mencatat dampak pada akurasi model. Model simulasi ini sering menggunakan bentuk standar yang dikenal sebagai simulasi Monte Carlo. Metode Monte Carlo mengasumsikan setiap nilai spasial input berasal dari populasi nilai. Misalnya, tutupan lahan dapat berkisar pada sekumpulan nilai untuk setiap sel. Selanjutnya, koefisien model juga dapat diubah pada rentang tertentu. Dalam model kartografi, bobot diizinkan untuk berkisar pada interval tertentu ketika layer digabungkan.

Simulasi Monte Carlo mengontrol bagaimana data input atau parameter model ini diizinkan untuk bervariasi. Biasanya, distribusi normal acak diasumsikan untuk nilai input kontinu. Jika semua variabel kecuali satu dipertahankan konstan, dan beberapa model dijalankan pada pilihan variabel yang berbeda dan acak, kita mungkin mendapatkan indikasi bagaimana variabel mempengaruhi output model. Kami mungkin menemukan bahwa model spasial tidak sensitif terhadap perubahan besar di sebagian besar nilai data input kami, tetapi sensitif terhadap perubahan kecil dalam beberapa. Misalnya, kepadatan rusa yang diprediksi mungkin tidak banyak berubah bahkan ketika tutupan lahan bervariasi pada rentang nilai yang luas, tetapi mungkin sangat bergantung pada kepadatan perumahan. Namun, kami juga dapat menemukan satu set data input, atau rentang data atau koefisien input, yang secara substansial mengontrol output model.

Monte Carlo atau simulasi serupa adalah teknik komputasi intensif. Ribuan model berjalan sering diperlukan untuk setiap unit komponen dari domain spasial. Beban komputasi meningkat karena model menjadi lebih terlibat, dan karena jumlah unit spasial meningkat. Namun, seringkali merupakan satu-satunya cara praktis untuk menilai dampak ketidakpastian pada analisis spasial, ketidakpastian baik dalam data input maupun parameter dan metode dalam menggabungkannya.

14.3 Kesimpulan

Standar data, penilaian akurasi data, dan dokumentasi data adalah beberapa aktivitas terpenting dalam SIG. Kita tidak dapat menggunakan data spasial secara efektif jika kita tidak mengetahui kualitasnya, dan distribusi data spasial yang efisien bergantung pada pemahaman yang sama tentang konten data.

Data mungkin tidak akurat karena beberapa penyebab. Data mungkin kedaluwarsa, dikumpulkan menggunakan metode atau peralatan yang tidak tepat, atau dikumpulkan oleh orang yang tidak terampil atau lalai.

Akurasi adalah ukuran kesalahan, perbedaan antara nilai yang benar dan yang diwakili. Ketidakakuratan dapat dilaporkan menggunakan banyak metode, termasuk nilai rata-rata, distribusi frekuensi, atau nilai ambang batas. Penilaian atau pengukuran akurasi hanya berlaku untuk kumpulan data dan waktu tertentu.

Akurasi harus diakui berbeda dari presisi. Presisi adalah ukuran pengulangan suatu proses. Pengumpulan data yang tidak tepat sering menyebabkan akurasi yang buruk.

Standar telah dikembangkan untuk menilai akurasi posisi. Penilaian akurasi dan pelaporan bergantung pada pengambilan sampel. Serangkaian fitur dikunjungi di lapangan, dan nilai sebenarnya dikumpulkan. Nilai-nilai sebenarnya ini kemudian dibandingkan dengan nilai-nilai yang sesuai yang disimpan dalam layer data, dan perbedaan antara nilai-nilai benar dan database diukur. Jumlah sampel yang terdistribusi dengan baik harus dikumpulkan. Lembar kerja dan statistik standar telah dikembangkan.

Standar dokumentasi data dikembangkan oleh Komite Data Geografis Federal, dikenal sebagai Standar Konten untuk Metadata Geospasial Digital. Standar ini mengidentifikasi informasi spesifik yang diperlukan untuk sepenuhnya menggambarkan kumpulan data spasial.

14.4 Soal Latihan

1. Mengapa standar begitu penting dalam data spasial?

2. Dapatkah Anda menggambarkan proses atau kegiatan yang sangat terbantu dengan adanya standar?
3. Apa perbedaan antara akurasi dan presisi?
4. Bagaimana perbedaan rata-rata dan ambang frekuensi dalam cara mereka melaporkan kesalahan posisi?
5. Apa saja penyebab utama kesalahan posisi dalam data spasial?
6. Jelaskan masing-masing konsep berikut dengan mengacu pada pendokumentasian akurasi data spasial: akurasi posisi, akurasi atribut, konsistensi logis, dan kelengkapan.
7. Apa itu NSSDA, dan bagaimana hal itu membantu kita mengukur akurasi posisi?
8. Apa langkah-langkah dasar dalam menerapkan NSSDA?
9. Apa kendala pada distribusi titik sampel di bawah NSSDA, dan mengapa kendala ini ditentukan?
10. Apa kandidat sumber yang baik untuk titik uji dalam menilai keakuratan layer data spasial?
11. Bagaimana kesalahan dalam data atribut nominal sering dilaporkan?
12. Apa itu metadata, dan mengapa itu penting?

14.5 DAFTAR PUSTAKA

Arbia, G., Griffith, D., Haining, R. (1999). Error propagation and modeling in raster GIS: overlay operations. International Journal of Geographical Information Science, 12:145–167.

Balazinska, M., Deshpande, A., Franklin, M.J., Gibbons, P.B., Gray, J., Hansen, M, Liebhold, M., Nath, S., Szalay, A., Tao, V. (2007). Data management in the Worldwide Sensor Web. Pervasive, 6:30–40.

Blakemore, M.(1984). Generalization and error in spatial data bases. Cartographica, 21:131–139.

Bolstad, P., Gessler, P., Lillesand, T. (1990). Positional uncertainty in manually digitized map data, International Journal of Geographical Information Systems, 4:399–412.

Chong, A.K. (1999). A technique for spatial sampling and error reporting for image map bases. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 65:1195–1198.

Comber, A.J., Fisher, P.F., Harvey, F., Gahegan, M., Wadsworth, R. (2006). Using metadata to link uncertainty and data quality assessments. Progress in Spatial Data Handling, 6:279–292.

DeBiase, D., DeMers, M., Johnson, A., Kemp, K., Luck, A.T., Plewe, B., Wentz, W. (2006). Geographic Information Science and Technology Body of Knowledge. Association of American Geographers.

DeBiase, D., Corbin, T., Fox, T., Francica, J., Green, K., Jackson, J., Jeffress, G., Jones, B., Jones, B., Mennis, J., Schuckman, K., Smith, C., & Van Sickle, J. (2010). The new Geospatial Technology Competency Model: Bringing workforce needs into focus. URISA Journal, 22:55–72.

Dunn, R., Harrison, A.R., & White, J.C. (1990). Positional accuracy and measurement error in digital databases on land use: an empirical study. International Journal of Geographical Information Systems, 4:385–398.

Fisher, P. (1991). Modelling soil map unit inclusions by Monte Carlo simulation, International Journal of Geographical Information Systems, 5:193–208.

Goodchild, M.F. and Gopal, S. (1989). The Accuracy of Spatial Databases. London: Taylor and Francis.

Guptill, S.C. & Morrison, J.L.(Eds.) (1995). Elements of Spatial Data Quality. New York: Elsevier.

Harmel, R.D., Smith, D.R., King, K.W., Slade, R.M. (2009). Estimating storm discharge and water quality data uncertainty: A software tool for monitoring and modeling applications. Environmental Modeling and Software, 24:832–842.

Heuvelink, G. (1999). Error Propagation in Environmental Modeling with GIS. London: Taylor and Francis.

Heuvelink, G., Brown, J.D., van Loon, E.E. (2007). A probabilistic framework for representing and simulating uncertain environmental variables. International Journal of Geographical Information Science, 21: 497–513.

Jones, R.R., McCaffrey, K.J.W., Wilson, R.W., Holdsworth, R.E. (2004). Digital field data acquisition: towards increased quantification of uncertainty during geological mapping. Geological Society of London Special Publications, 239:43–56.

Kassenberg, D., De Jong, K. (2005). Dynamic environmental modeling in GIS: 2. Modeling error propagation. International Journal of Geographical Information Science, 19:623–637.

Lodwick, W.A., Monson, W., & Svoboda, L. (1990). Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems. International Journal of Geographical Information Systems, 4:413–427.

Lowell, K., and Jaton, A. (1999). Spatial Accuracy Assessment: Land Information Uncertainty in Natural Resources. Chelsea: Ann Arbor Press.

Hunsacker, C.T., Goodchild, M.F., Friedl, M.A., Case, T.J. (2001). Spatial Uncertainty in Ecology: Implications for Remote Sensing and GIS Applications. New York: Springer-Verlag.

Thapa, K. and Bossler, J. (1992). Accuracy of spatial data used in geographic information systems, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58:841–858.

Walsh, S. J., Lightfoot, D. R., and Butler, D. R. (1987). Recognition and assessment of error in geographic information systems, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53:1423–1430.

BAB 15
PERKEMBANGAN BARU GIS

15.1 Pendahuluan

Seperti yang diketahui setiap ekonom, memprediksi masa depan penuh dengan bahaya. Prediksi jangka pendek mungkin aman; jika waktunya bagus sekarang, mungkin bulan depan akan bagus. Namun, semakin jauh dia mencapai masa depan, semakin besar kemungkinan dia akan salah. Bab ini menjelaskan teknologi yang mungkin tersebar luas. Ini membahas tren masa depan, dengan harapan bahwa banyak dari spekulasi ini akan terbukti tidak akurat.

Banyak perubahan dalam GIS didasarkan pada kemajuan komputer dan perangkat keras elektronik lainnya. Komputer menjadi lebih kecil dan lebih murah. Hal ini berlaku baik untuk mesin serba guna maupun untuk komputer khusus, seperti komputer tablet portabel yang kokoh. Penyihir semikonduktor terus bermimpi dan kemudian menghasilkan perangkat yang sangat pintar. Mengingat tren saat ini, kita tidak perlu terkejut di masa depan jika perangkat seukuran kacang polong menampung semua karya manusia yang diterbitkan. Komputer dapat memperoleh kepribadian, mengenali kita sebagai individu, menanggapi sepenuhnya perintah suara, dan secara rutin menyulap gambar tiga dimensi yang melayang di ruang angkasa di depan mata kita. Perkembangan ini dan lainnya akan mengubah cara kita memanipulasi data spasial.

Perubahan dalam GIS juga akan disebabkan oleh tumbuhnya koneksi berkecepatan tinggi, nirkabel dan kabel di mana-mana. Jika data kami selalu tersedia, kami akan berinteraksi dengan mereka secara berbeda. Kita dapat dengan lebih mudah melihat bagaimana keadaan di lapangan, dan membandingkannya dengan keadaannya, misalnya, diagram pengkabelan untuk panel persimpangan telepon di pinggir jalan, atau denah lokasi bangunan vs. pengintaian. Sejarah pemupukan lahan pertanian, ukuran flens saluran air, atau catatan inspeksi jembatan semua mungkin tersedia kapan saja, di mana saja, untuk menyederhanakan pemeliharaan dan pengelolaan.

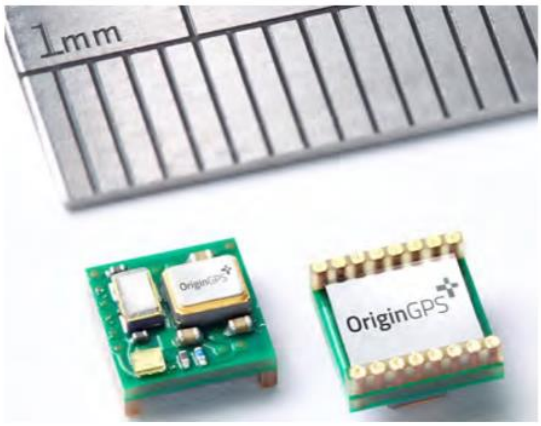
Perubahan juga disebabkan oleh peningkatan kecanggihan dalam perangkat lunak dan pengguna GIS, dan peningkatan keakraban dan standarisasi. Perubahan akan didorong oleh algoritma atau metode baru, misalnya, teknik kompresi data yang lebih baik yang mempercepat pengambilan dan meningkatkan kualitas gambar digital. Paket perangkat lunak khusus dapat dibuat yang mengubah operasi multi-hari yang rumit secara teknis menjadi beberapa klik mouse. Alat-alat baru ini akan diperkenalkan saat teknologi GIS terus berkembang dan akan mengubah cara kita mengumpulkan dan menganalisis data spasial.

15.2 GNSS

Tiga tren akan mendominasi inovasi GNSS selama dekade berikutnya: penerima multi-GNSS, miniaturisasi, dan integrasi sistem. Penerima multi-GNSS akan terus memanfaatkan konstelasi satelit yang berbeda. GNSS belum mampu memberikan akurasi posisi 10 cm (subfoot) di hutan lebat, lembah yang dalam, atau pusat kota. Sistem GPS/GLONASS ganda sudah ada, dan sistem yang secara bersamaan mendukung sistem Galileo dan Kompas Cina akan dikembangkan, yang semakin meningkatkan akurasi, ketersediaan, dan keandalan. Receiver biasanya memiliki ratusan saluran, dan melacak puluhan satelit bahkan ketika berada di bawah kanopi hutan

lebat, di ngarai, dan di antara gedung-gedung tinggi, menghadirkan pemosisian tepat waktu nyata untuk semua orang.

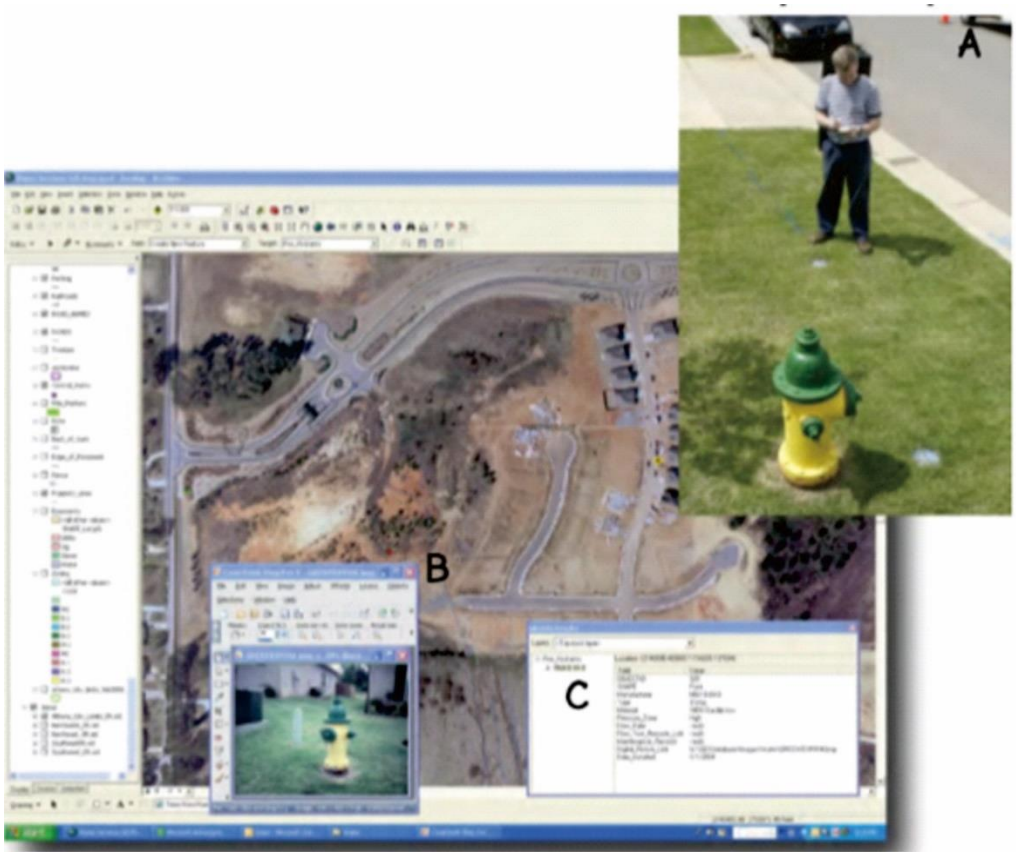
Penerima GNSS akan lebih murah, menyusut dalam ukuran dan berat, dan meningkatkan akurasi untuk beberapa waktu mendatang, dan peningkatan ini akan memacu adopsi teknologi ini secara lebih luas (Gambar 15-1). Miniaturisasi mikroelektronik membantu membentuk pasar GNSS. Ketika penggunaan GNSS tumbuh dan metode manufaktur meningkat, sistem GNSS chip tunggal telah muncul, dan chip ini semakin kecil ukurannya. Chip GNSS yang lebih kecil dari prangko tersedia, termasuk beberapa yang dapat diintegrasikan ke dalam perangkat elektronik umum. Banyak vendor berada di jalur yang tepat menuju integrasi sistem, dan akan menjadi lebih umum untuk menyematkan antena, penerima, elektronik pendukung, catu daya, dan penerima radio koreksi diferensial dalam satu peralatan. Beberapa dari sistem terintegrasi ini lebih kecil dari kebanyakan antena GNSS satu dekade lalu, dan sistem akan terus menyusut. GNSS berukuran tombol tidak jauh.



Gambar 15.1 Unit GNSS mini yang dapat disematkan di berbagai perangkat elektronik.

Sebagai penerima menyusut dalam ukuran dan biaya, menjadi praktis untuk mengumpulkan informasi posisi pada objek individu yang lebih kecil. Meskipun GNSS tidak mungkin membantu Anda menemukan kunci Anda, penerima GNSS kecil akan mengumpulkan data spasial untuk objek yang lebih kecil. Misalnya, beberapa tahun yang lalu tidak ekonomis untuk melacak objek yang lebih kecil dari kapal kargo. Sekarang truk atau peti kemas rutin diikuti. Dalam waktu dekat mungkin umum untuk melacak paket individu.

Gambar 15.2 Penerima GNSS mini tersedia untuk merekam kecepatan, jarak, dan mencatat trek, yang nantinya dapat diunduh dan dianalisis (milik Garmin Inc.).



Gambar 15-3: Penerima GNSS dengan kamera internal dapat digunakan untuk merekam lokasi (A), gambar (B), dan atribut (C) objek (milik TOPCON).

Penerima GNSS pribadi dengan cepat menemukan aplikasi di luar ruangan. Miniaturisasi ke GNSS seukuran pergelangan tangan sekarang memungkinkan pejalan kaki, pelari, dan pengendara sepeda memantau lokasi, kecepatan, dan rute mereka, meninjau kinerja, dan mencatat jarak tempuh (Gambar 15-2). GPS kecil dapat dipasangkan dengan komunikator satelit untuk memungkinkan kontak dari mana saja di permukaan bumi, memungkinkan petualang dan mereka yang tertinggal akses cepat ke informasi posisi.

Miniaturisasi GNSS berarti kami akan secara langsung mengumpulkan lebih banyak data di lapangan daripada di masa lalu. Seorang insinyur kota dapat mempelajari pola lalu lintas dengan menempatkan penerima GNSS tujuan khusus ke dalam mobil. Berapa lama perjalanan rata-rata? Berapa banyak waktu yang dihabiskan untuk duduk di rambu atau lampu berhenti, dan di mana kemacetan paling sering terjadi? Bagaimana lalu lintas dipengaruhi oleh kondisi cuaca? Analisis jaringan lalu lintas akan menjadi jauh lebih mudah dengan GNSS unit kecil. Penerima GNSS sekali pakai dapat ditempelkan, seperti stiker, di kaca depan dalam jumlah ribuan, untuk mengirimkan data mereka kembali ke pusat manajemen lalu lintas

Sinyal koreksi diferensial di mana-mana, murah, atau gratis secara substansial meningkatkan akurasi yang biasa dicapai dengan GNSS. Banyak negara akan menetapkan cakupan yang lebih lengkap. Jaringan Stasiun Referensi Virtual (VRS) berjanji untuk memungkinkan pemosisian

tingkat submeter dan bahkan mendekati sentimeter secara real time. Solusi komersial akan dikembangkan lebih lanjut dan dibuat lebih murah.

Sistem GNSS akan menambahkan fungsi, termasuk kemampuan untuk mengambil foto atau video dan melampirkannya ke fitur geografis dalam database (Gambar 15-3). Pepatah lama "sebuah gambar bernilai seribu kata" dapat dimodifikasi menjadi, "sebuah gambar menghemat seribu jam." Sistem ini akan sangat membantu perencanaan, pengelolaan, dan analisis dengan lebih mudah menyediakan gambar di GIS. Misalnya, jenis, lokasi relatif, dan kondisi utilitas umum seperti hidran kebakaran dapat dijelaskan dengan foto dan data alfanumerik yang dikumpulkan dalam database. Jika perintah kerja diperlukan untuk memperbaiki hidran, foto dapat diambil di lapangan dan ditandai dengan perintah kerja. Foto ini dapat diperiksa untuk memverifikasi jenis hidran, mungkin untuk mengidentifikasi alat yang diperlukan untuk perbaikan, atau untuk mengenali bagian spesifik mana yang diperlukan untuk pemeliharaan.

15.2.1 Pemetaan Tiga Dimensi Tetap dan Seluler

GNSS juga digabungkan dengan kemajuan baru dalam pemindaian laser berbasis darat untuk meningkatkan cakupan, akurasi, dan efisiensi pengumpulan data spasial. Perangkat pemindaian tiga dimensi telah dikembangkan yang mengukur lokasi fitur horizontal dan vertikal (Gambar 15-4). Pemindaian ini diperlukan karena banyak fitur yang dimodifikasi dari waktu ke waktu, misalnya, jalan diubah, bangunan diperpanjang, dukungan tambahan dapat ditambahkan ke menara, atau kilang minyak dapat dipasang kembali. Inventaris harus diperbarui untuk mencatat fitur yang dibuat, bukan seperti yang dirancang atau diamati selama inventaris sebelumnya. Laser pemindaian tiga dimensi dapat digabungkan dengan penerima GNSS yang tepat untuk mengukur koordinat x, y, dan z dari fitur-fitur penting. GNSS digunakan untuk menentukan lokasi laser pemindaian. Offset horizontal dan vertikal dari titik pemindaian diukur dengan laser. Pengukuran ini digabungkan dengan geometri koordinat untuk menghitung posisi yang tepat untuk semua fitur yang dipindai di lapangan.

Gambar 15.4 Pemindai 3 dimensi portabel dalam produksi skala besar, dan memungkinkan pengumpulan posisi x, y, dan z yang cepat dan akurat bersama dengan gambar dan data lainnya (milik Riegl Systems).

Tren integrasi multiteknologi akan dipercepat untuk pemetaan seluler tingkat sentimeter yang cepat. GNSS multisaluran yang dikombinasikan dengan sistem penentuan posisi lainnya akan memberikan lokasi yang sangat akurat, dan pemindai laser tiga dimensi serta pengumpulan data gambar 360 derajat akan memungkinkan pengumpulan koordinat x, y, dan z yang lebih cepat (Gambar 15-5).

Dikombinasikan dengan sistem GNSS dan dipasang pada platform seluler, sistem pemetaan laser tiga dimensi akan mengumpulkan data yang sangat akurat yang dapat diakses oleh siapa saja yang memiliki GNSS yang mendukung lalu lintas. Pengemudi yang mendekat dapat diperingatkan, waktu perjalanan dihitung dan rute baru yang disarankan diidentifikasi. Orang dapat membayangkan mobil self-driving yang bernavigasi melalui gabungan GNSS/LiDAR/GIS, menggunakan sistem untuk menghindari tabrakan melalui pengukuran jarak waktu nyata dan komunikasi nirkabel dengan mobil "terdekat".

Gambar 15.5 Sistem pemetaan yang dikombinasikan dengan GNSS, laser pencitraan tiga dimensi, sistem pencitraan optik, dan sistem pengukuran lainnya untuk menyediakan pengukuran tiga dimensi terintegrasi secara real time (milik Topcon).

Sistem seluler semacam itu akan membantu meningkatkan mata uang dan akurasi jaringan transportasi digital, dan apa pun yang terlihat darinya. Setiap jalan dapat didigitalkan saat mengemudi, serta setiap bangunan, tiang lampu, tanda, bangku, pohon, atau struktur tiga dimensi lainnya yang terlihat darinya. Upaya akan beralih dari fokus pada pengembangan sistem pengumpulan data turn-key yang terintegrasi ke perangkat lunak dan metode yang mengotomatiskan alur kerja, sehingga data dapat berpindah dari perangkat ke database dengan intervensi manusia sesedikit mungkin.

Sangat akurat, data saat ini dapat memacu adopsi tampilan "heads-up" (HUD) di mobil. Penggunaan HUD saat ini terkonsentrasi di pesawat militer, di mana gambar data penting diproyeksikan ke kaca depan pilot. Ini memungkinkan pilot untuk memantau informasi penting, seperti siapa yang mencoba menembak jatuh jetnya, tanpa melihat ke bawah. Sistem

serupa telah dikembangkan untuk mobil selama beberapa waktu, tetapi belum digunakan, sebagian karena data berkualitas tinggi yang memadai tidak tersedia untuk lokasi jalan. Penghalang ini dapat diatasi dalam waktu yang tidak terlalu lama, karena setiap rambu jalan, trotoar, pagar pengaman, jembatan, dan off-ramp dipetakan ke tingkat sentimeter, dan diatur dalam GIS yang tersedia di mobil.

Sistem HUD mobil akan bergantung pada beberapa teknologi. Sebuah GNSS akan menemukan kendaraan dalam beberapa puluh sentimeter secara real time. Data tiga dimensi pada garis tengah jalan, tepi, tepi jalan, tiang yang berdekatan, dan fitur penting lainnya akan diidentifikasi untuk lintasan di depan. Alat bantu, seperti penerangan virtual di kaca depan, dapat mengidentifikasi tepi jalan saat jarak pandang buruk (Gambar 15-6), menandai bahaya atau belokan yang akan datang, atau memperingatkan kondisi yang tidak terduga. Ketika dikombinasikan dengan pemindai laser di kendaraan, sistem dapat mengidentifikasi mobil yang bergerak dan membedakannya dari objek diam yang tidak terduga di jalan raya, atau perubahan kondisi lainnya. Mobil dapat menggunakan informasi yang dipetakan pada lebar bahu, off-ramp terdekat, jalan di depan, atau informasi struktural lainnya untuk melakukan manuver mengemudi yang tepat dan menghindari kecelakaan.

Gambar 15.6 Tampilan head-up mungkin muncul di mobil, meningkatkan keselamatan pengemudi dan efisiensi perjalanan di bawah cuaca buruk (courtesy Continental).

15.3 Modernisasi Datum

Realisasi datum baru akan dihitung, berdasarkan pengukuran yang ditingkatkan. Pergeseran datum di antara datum berbasis ITRF akan tetap kecil, tetapi penyesuaian datum yang direncanakan untuk datum NAD83 selama dekade berikutnya dapat menghasilkan pergeseran yang cukup besar. Pergeseran ini sebagian besar disebabkan oleh perubahan cara datum dihitung, dan hanya sedikit karena peningkatan pengukuran.

ITRF adalah sistem yang berpusat pada Bumi berdasarkan pengukuran lokasi x, y, dan z serta kecepatan titik. Ini menempatkan asal elipsoid yang diadopsi pada perkiraan terbaik dari pusat massa Bumi pada saat setiap penyesuaian. Datum NAD83 pasca 1986 juga berpusat di Bumi. Berbeda dengan sistem ITRF, datum NAD83 belum mengadopsi pengukuran terbaik dari pusat Bumi, melainkan posisi yang kompatibel dengan datum NAD83 yang lebih tua.

Pengukuran global yang ditingkatkan akan mendukung pengembangan datum horizontal dan vertikal yang lebih akurat, dan membantu mendukung pemosisian tingkat sentimeter yang tepat dan cepat di seluruh dunia.

NGS telah menerbitkan "Rencana Sepuluh Tahun Survei Geodesi Nasional" untuk 20082018 yang menggambarkan jalan ke depan untuk modernisasi datum. Rencana ini tidak berkomitmen untuk menyelaraskan sistem NAD83 dan ITRF, meskipun menyarankan harmonisasi tersebut akan dipertimbangkan, dan keputusan diambil berdasarkan pemangku kepentingan dan masukan lainnya.

Rencana sepuluh tahun juga menjelaskan proses untuk meningkatkan datum vertikal. Perbaikan akan didasarkan pada pengukuran gravitasi di seluruh belahan bumi, memperhitungkan perubahan medan gravitasi dari waktu ke waktu, dan juga untuk kenaikan permukaan laut rata-rata. Seperti halnya datum horizontal, data ini akan didasarkan setidaknya sebagian pada pengukuran berbasis satelit global yang terintegrasi, dan terkait dengan pengukuran ITRF. Datum vertikal baru akan memungkinkan penghitungan ketinggian yang terkait dengan zaman pengukuran.

15.4 Penginderaan Jauh yang Ditingkatkan

Pengumpulan data spasial akan ditingkatkan secara substansial dengan kemajuan berkelanjutan dalam penginderaan jauh. Lebih banyak satelit, resolusi spasial dan temporal yang lebih tinggi, kamera digital yang ditingkatkan, dan platform sensor baru semuanya akan meningkatkan susunan data yang tersedia. Kami akan dapat merasakan fenomena baru, dan menemukan fitur yang diukur sebelumnya dengan peningkatan presisi dan akurasi. Sistem berbasis satelit akan terus meningkat dalam resolusi dan cakupan, khususnya frekuensi pengumpulan data. Sistem Worldview adalah contoh menonjol dari tren ini (Gambar 15-8). Tiga satelit telah diluncurkan, yang terbaru dengan resolusi spasial 0,25 m. Ini lebih baik daripada kebanyakan foto udara skala menengah satu dekade lalu.

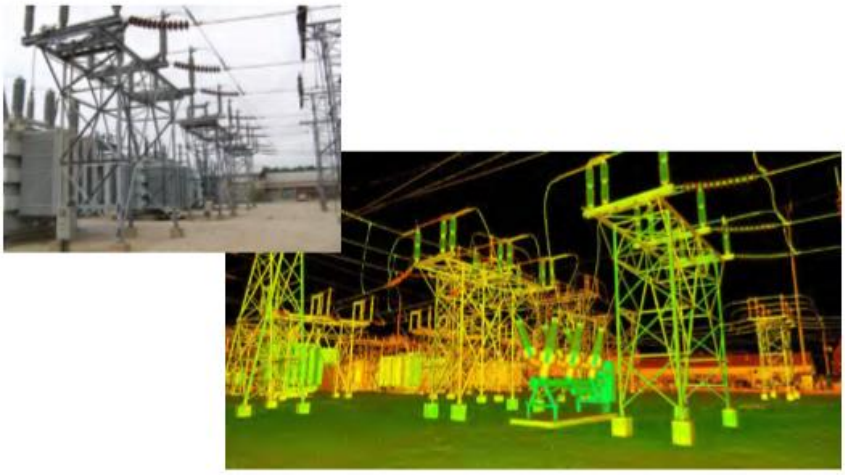
Perbaikan serupa dalam resolusi dan cakupan sedang berlangsung untuk penyedia citra satelit lainnya, meningkatkan frekuensi dan jenis gambar yang tersedia untuk pemetaan resolusi menengah hingga tinggi.

Perbaikan paralel berlanjut dalam akuisisi citra udara. Kamera udara meningkatkan resolusi spasial, yang berarti meningkatkan ketersediaan gambar detail, dengan sensitivitas radiometrik yang lebih tinggi, menghasilkan jangkauan aplikasi yang lebih luas. Banyak sistem memiliki lebar radiometrik yang lebih tinggi, yang mengarah ke pengumpulan rutin lebih dari spektrum panjang gelombang yang terlihat. Program akuisisi udara nasional mengintegrasikan peningkatan ini, dengan gambar NASS biasanya disediakan pada gambar resolusi satu meter, naik dari resolusi dua meter umum beberapa tahun yang lalu. USGS dan organisasi lain menyediakan gambar resolusi bawah kaki, mungkin secara nasional. Tiang lampu individu,

trotoar, dan bahkan retakan tempat parkir dapat diamati dalam gambar ini, menjadikannya sumber data spasial yang kaya.

Data LiDAR adalah contoh lain dari penginderaan jauh yang ditingkatkan. Sistem LiDAR meningkat dalam akurasi dan resolusi serta penurunan biaya, dengan data koordinat yang biasanya dipasangkan dengan gambar udara digital. Sistem LiDAR komersial di masa lalu mengumpulkan titik data beberapa meter persegi, sementara sistem saat ini secara rutin mengumpulkan beberapa sampel per meter persegi. Segera, puluhan atau ratusan sampel per meter persegi akan menjadi umum, memungkinkan definisi spasial yang belum pernah terjadi sebelumnya.

Gambar 15.8 Gambar dari satelit Worldview-3, diambil alih Washington, D.C. Satelit ini menghasilkan gambar dengan resolusi hingga 25 cm, dan akan segera digabungkan dengan gambar lain dengan resolusi tinggi yang sama. Kami mungkin akan segera memiliki gambar harian, global, resolusi tinggi (milik DigitalGlobe).



Gambar 15.9 Sebuah foto (kiri atas) dan kumpulan data LiDAR tiga dimensi, merekam koordinat yang tepat pada resolusi yang sangat tinggi. Data koordinat ini berguna untuk inspeksi, rekayasa, dan pemeliharaan, dan biasanya tidak tersedia, atau cukup mahal, sebelum LiDAR (courtesy Landpoint).

Gambar 15.10 UAV yang dilengkapi dengan kamera dan GNSS canggih dapat mengumpulkan data spasial dengan akurasi milimeter dari citra udara (courtesy senseFly).

Biaya data LiDAR menurun, dan pemetaan LiDAR kabupaten ke negara bagian kemungkinan akan menjadi umum. Penggabungan data LiDAR dengan gambar dan data spasial lainnya akan terus berlanjut, dan tentunya menciptakan peluang dan aplikasi baru.

GIS tiga dimensi akan lebih banyak dikembangkan dan dipraktikkan karena data yang disediakan oleh LiDAR tiga dimensi, di permukaan tanah atau di dekat permukaan tanah (Gambar 15-9). Sistem LiDAR yang dibawa dengan berjalan kaki, dengan mobil atau drone, atau di pesawat terbang tinggi akan memberikan fitur koordinat x, y, dan z dari berbagai perspektif vertikal, miring, dan horizontal. Ketika digabungkan, ini memungkinkan karakterisasi ruang tiga dimensi yang lebih benar. Pengembangan, manajemen, analisis, dan visualisasi data saat ini sedang berlangsung di seluruh arsitektur, CAD, survei, dan perangkat lunak dan disiplin ilmu GIS, dan pengembangan substansial dan penggabungan lintas disiplin ini akan segera dilakukan.

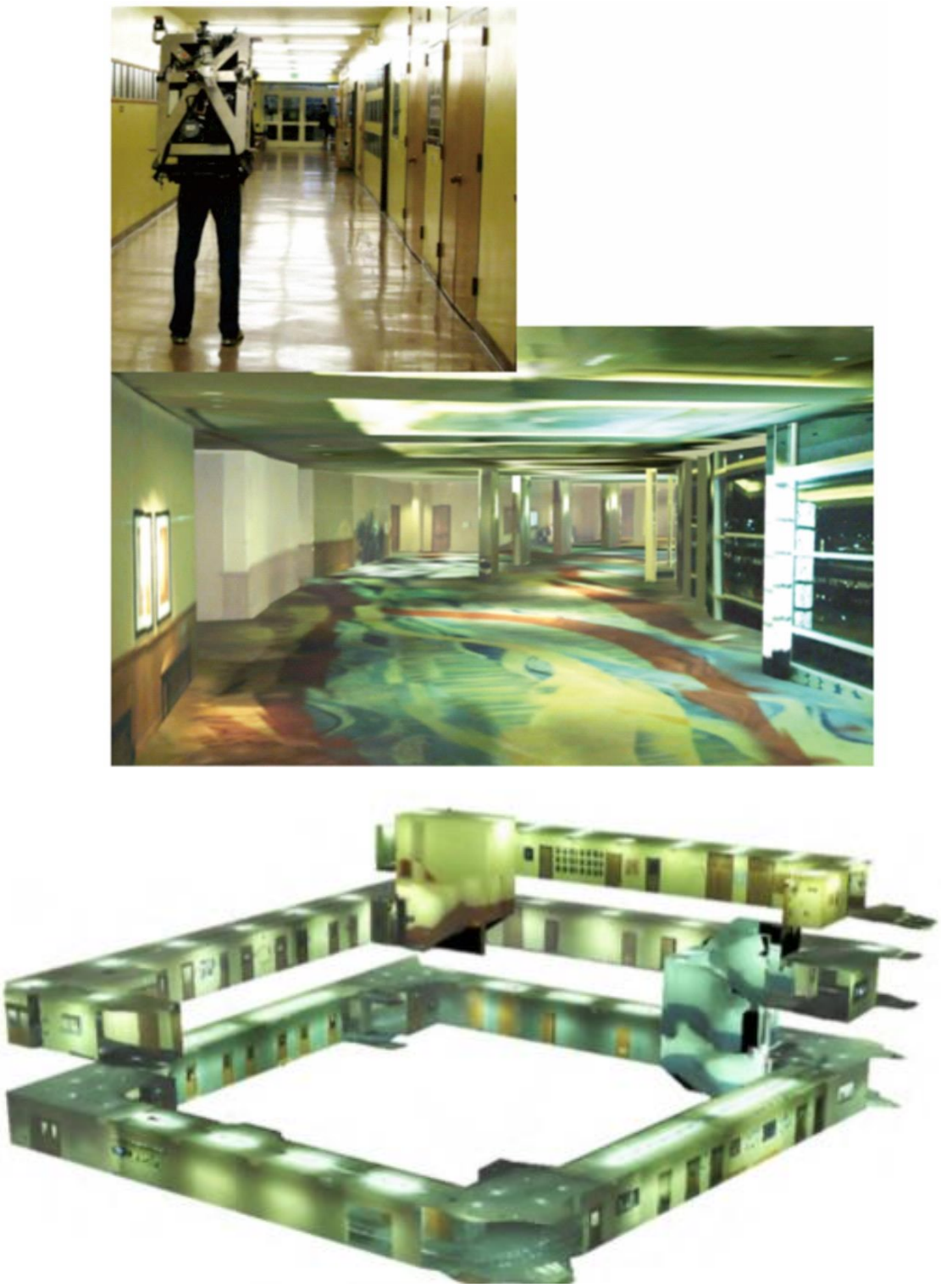
Kemajuan dalam pesawat berukuran penuh dan miniatur (Gambar 15-10), yang dikenal sebagai drone, kendaraan yang dikendalikan dari jarak jauh (RPV) atau kendaraan udara tak

berawak (UAV), mengarah pada peningkatan ketersediaan jangkauan citra udara yang lebih luas. Dipelopori terutama oleh NASA beberapa dekade yang lalu, teknologi ini membuat lompatan ke aplikasi komersial yang luas. Beberapa UAV eksperimental mungkin terbang lebih cepat dan berbelok lebih kencang daripada banyak pesawat yang membawa pilot manusia. Muatan khusus dapat dibawa dengan murah di pesawat ini, untuk jangka waktu yang lama, dan dalam kondisi yang lebih berbahaya daripada di pesawat yang dipiloti manusia. Kapal kecil dapat digunakan dengan cepat, dan telah mendemonstrasikan pengukuran tiga dimensi yang sangat presisi pada resolusi sangat tinggi dan untuk aplikasi kecil di lokasi atau area tertentu.

Gambar 15.11 Contoh data koordinat gambar dan LiDAR dengan resolusi sangat tinggi. Ini adalah kombinasi dari beberapa tampilan gambar untuk membuat kumpulan data tiga dimensi dari suatu area di U.C. Kampus Berkeley. Ini adalah data nyata, dan bukan animasi yang dibuat, dibuat dari data x, y, z dengan resolusi subsentimeter. Data gambar memberikan informasi warna dan lokasi data LiDAR tekstur untuk setiap titik, memungkinkan rendisi seperti aslinya dari lokasi mana pun. Penelitian berusaha mengatasi keterbatasan pengumpulan, penyimpanan, dan pemrosesan data, sehingga data seperti ini secara rutin digunakan dalam waktu yang tidak terlalu lama (milik Avideh Zakhor, U.C. Berkeley Video and Image Processing Lab).

Saat ini ada pengembangan intensif dari helikopter kecil atau pesawat terbang yang dilengkapi dengan kamera dan elektronik pemosisian, kontrol, dan telemetri, dengan jalur penerbangan yang telah diprogram sebelumnya dan "kecerdasan" di atas kapal untuk memodifikasi kemudi dalam menanggapi angin, hujan, atau kondisi penerbangan lainnya. UAV telah menyelesaikan penerbangan lintas samudera dengan panduan hanya saat lepas landas dan mendarat, dan UAV secara rutin mengumpulkan data cuaca, kualitas air, dan lingkungan lainnya.

Ada upaya paralel untuk mengurangi ukuran, berat, dan meningkatkan akurasi sistem LiDAR, karena sebagian besar sistem sensor saat ini terlalu besar dan berat untuk sebagian besar UAV kecil. Bobot sistem LiDAR meningkatkan ukuran UAV, membatasi waktu pengumpulan, dan meningkatkan bahaya pengumpulan, tetapi ada kemajuan besar dalam miniaturisasi sistem, yang harus dilanjutkan. UAV akan semakin banyak digunakan untuk menyediakan gambar untuk pengumpulan data koordinat dan atribut, termasuk data tiga dimensi, dan gambar dari samping serta puncak bangunan atau struktur lainnya (Gambar 15-11).



Gambar 15-12: Contoh akuisisi dan organisasi data tiga dimensi dalam ruangan. Gambar dan data LiDAR yang dikumpulkan dengan sistem ransel (atas) memberikan rekonstruksi tiga dimensi lingkungan dalam ruangan (tengah). Ini dapat digabungkan, mempertahankan posisi absolut yang akurat, untuk merekonstruksi interior bangunan yang terhubung (bawah). Meskipun saat ini merupakan area penelitian yang aktif, kemajuan terlihat jelas dalam aplikasi, dan akan meningkat seiring dengan rintangan pengumpulan, penyimpanan, pemrosesan, dan analisis data yang diatasi, dan ketika standar ditetapkan untuk penyimpanan dan akses data (milik Avideh Zakhor, UC Berkeley Video and Image Laboratorium Pemrosesan).

Penginderaan jauh juga menjelajah di dalam ruangan, memungkinkan pengumpulan data interior bangunan. Data ini berguna untuk pemeliharaan, keamanan, perencanaan, evakuasi darurat, dan penilaian kerusakan.

Eksperimental, sistem akuisisi data yang dipasang di ransel mengumpulkan posisi melalui LiDAR dan warna serta tekstur dari beberapa kamera (Gambar 15-12). Data ini dapat digabungkan bersama untuk memberikan representasi tiga dimensi penuh, dan dikombinasikan dengan eksterior untuk menciptakan koordinat penuh dan catatan warna interior dan eksterior bangunan.

15.5 GIS Berbasis Cloud

GIS berbasis cloud menyediakan penyimpanan data, analisis, dan kemampuan tampilan melalui internet, dengan layanan yang biasanya disediakan dari satu atau beberapa lokasi terpencil melalui internet. Komputasi berbasis cloud mencakup aplikasi pemetaan internet yang dapat diakses secara luas, tetapi juga mencakup penyimpanan data dan rangkaian lengkap kemampuan analitis yang didukung perangkat lunak, sesuatu yang umumnya mengikuti arsitektur jaringan lokal atau pribadi. Selama masa lalu, perangkat lunak GIS terutama berada pada hard disk lokal atau jaringan yang erat, dan dijalankan pada unit pemrosesan pusat komputer lokal. Anda mengunduh data ke hard drive lokal, dan membeli perangkat lunak untuk diinstal secara fisik di komputer lokal, meskipun perangkat lunak tersebut mungkin memiliki lisensi referensi atau sumber daya lain di server berpemilik (biasanya) di komputer lain. Komputasi berbasis cloud membayangkan banyak dari sumber daya ini disediakan dari sumber yang jauh, dengan komputer lokal mungkin hanya berfungsi sebagai portal entri tampilan dan perintah—data, perangkat lunak, dan pemrosesan semuanya mungkin ada di tempat lain.

Komputasi awan memiliki banyak keuntungan potensial. Mungkin ada total biaya kepemilikan yang lebih rendah, karena Anda mungkin hanya perlu menggunakan satu set perangkat lunak sesekali, dan dapat membayar sesuai kebutuhan, daripada harga tetap terlepas dari penggunaan total. Skala ekonomi dalam penyimpanan dan pemeliharaan data atau dalam daya komputasi mungkin menguntungkan, serta sentralisasi dukungan teknis khusus. Kapasitas tambahan dapat ditambahkan sesuai kebutuhan, seiring pertumbuhan pangsa pasar, atau permintaan proyek tertentu meningkat. Sumber daya dapat ditingkatkan atau dikembalikan sesuai kebutuhan. Kemampuan baru dapat disewa atau diuji dengan lebih mudah, dan fungsi perangkat lunak dapat mengadopsi model sewa dan struktur harga dengan lebih baik.

Komputasi awan juga dapat menyediakan akses data yang lebih cepat, lebih luas, lebih aman, dan lebih berkelanjutan. Koneksi internet meningkat dalam kecepatan, dan memori solid-

state dalam instalasi besar menyediakan akses yang lebih cepat. Fasilitas server besar mungkin terus menerus, selalu dapat diakses. Array server besar dapat dilengkapi dengan cadangan dan perlindungan yang tepat, termasuk pencerminan data di lokasi yang berbeda. Pencerminan menyediakan redundansi data, karena data yang sama disimpan secara bersamaan di fasilitas fisik yang berbeda, seringkali bermil-mil atau bahkan negara yang terpisah. Jika kebakaran, banjir, atau bencana lainnya menimpa satu server data, gambar cermin kemungkinan akan tetap utuh.

Pemetaan internet mungkin merupakan bentuk komputasi berbasis cloud yang paling sederhana dan paling umum. Banyak aplikasi internet memungkinkan pengguna untuk membuat peta pada halaman Web. Pengguna individu memiliki kendali atas layer data yang ditampilkan, luas area yang dipetakan, dan simbol yang digunakan untuk membuat peta. Internet berbeda dari teknologi lain karena memungkinkan banyak orang untuk membuat peta secara khusus. Setiap pengguna dapat memilih data dan elemen kartografinya sendiri untuk ditampilkan. Pengguna sebagian besar bebas dari tugas pengembangan data apa pun dan dengan demikian hanya perlu tahu sedikit tentang entri data, pengeditan, atau rincian proyeksi peta, koordinat, atau detail lain yang diperlukan untuk produksi data spasial yang akurat. Biasanya peta itu sendiri adalah produk akhir, dan dapat digunakan untuk ilustrasi, atau untuk mendukung analisis yang akan dilakukan sepenuhnya di dalam kepala pengguna.

Aplikasi pemetaan internet ini sangat sesuai ketika sejumlah besar pengguna perlu mengakses sejumlah layer data untuk menyusun peta. Pengguna internet dapat memilih tema, variabel, dan simbolisasi, berbeda dengan grafik peta statis, di mana pembuat peta situs web mendefinisikan properti setiap peta.

Karena sebagian besar aplikasi pemetaan internet dibuat untuk pengguna yang memiliki sedikit pengetahuan tentang data spasial, peta, dan analisis, rangkaian operasi spasial yang diizinkan biasanya sangat jarang. Sebagian besar pemetaan internet saat ini terbatas pada pembuatan tampilan sederhana. Ini berubah, karena kueri, fungsi jarak, dan alat dasar disediakan, meskipun dalam bentuk yang sangat sederhana.

Layanan pemetaan web adalah langkah lain menuju model GIS berbasis cloud. Data disimpan di suatu tempat "di cloud", dan tautan khusus ke sana disediakan. Data dapat diakses setelah menjalin koneksi, seolah-olah berasal dari sumber disk lain, setidaknya sejauh tampilan perangkat lunak pengakses. Program GIS tidak membedakan antara data lokal dan cloud setelah koneksi dibuat.

Ini memunculkan satu batasan utama dari model cloud, ketergantungannya pada koneksi cepat ke sumber daya cloud. Kecepatan internet yang lambat menjadi penghalang, terutama dengan kumpulan data atau gambar besar yang menjadi ciri banyak analisis spasial. Setiap penambahan zoom, pan, atau layer mungkin memerlukan adegan untuk dicat ulang, yang melibatkan pergerakan miliaran piksel melalui koneksi web.

Meskipun hal ini dapat diatasi sampai batas tertentu dengan caching lokal, pengunduhan antisipatif, misalnya, menarik data di area yang lebih luas daripada yang langsung dilihat, dan teknik perangkat lunak lainnya, tetapi dalam batas. Dalam banyak kasus, tidak ada pengganti untuk kecepatan internet yang sangat cepat. Internet cepat yang tersebar luas akan segera hadir, tetapi akses mungkin bergantung pada permintaan dan pasokan internet.

Sampai saat ini, alat analisis yang dikirimkan melalui internet masih sangat sederhana, dan mungkin akan tetap demikian untuk beberapa waktu. Pengoperasian alat analisis yang kuat dan benar sulit dilakukan dalam banyak kasus, dan membutuhkan investasi yang cukup besar. Sistem untuk pengiriman, pembayaran, dan perlindungan untuk rangkaian alat geospasial yang luas dan saling berinteraksi akan membutuhkan pengembangan, baik secara teknis maupun budaya.

15.6 GIS Terbuka

15.6.1 Standar Terbuka untuk GIS

Standar terbuka dalam komputasi berusaha mengurangi hambatan untuk berbagi program, data, dan informasi. Struktur data spasial mungkin sangat kompleks, mungkin lebih dari banyak jenis data lainnya. Data dapat berupa raster atau vektor, nyata atau biner, atau mewakili fitur titik, garis, atau area. Selain itu, vendor perangkat lunak yang berbeda dapat memilih untuk menyimpan citra raster mereka menggunakan format yang berbeda, dan data dapat dikirimkan pada media fisik yang berbeda, atau diformat dengan cara yang berbeda. Jika seseorang memesan gambar dalam satu format, tetapi sistem komputasinya tidak mendukung media fisik tempat data ditulis, atau tidak memahami struktur file yang digunakan untuk menyimpan gambar, maka dia mungkin tidak dapat menggunakan data ini. . Sistem yang tidak kompatibel umumnya digambarkan sebagai noninteroperable, dan standar terbuka berusaha untuk menghilangkan noninteroperability ini.

Pengembangan standar terbuka dalam komputasi didorong oleh gagasan bahwa komunitas pengguna yang lebih besar diuntungkan ketika tidak ada hambatan teknis yang menghambat pertukaran data dan metode secara bebas. Standar terbuka berusaha membangun kerangka kerja umum untuk mewakili, memanipulasi, dan berbagi data. Standar terbuka juga berupaya menyediakan metode bagi vendor dan pengguna untuk menyatakan kepatuhan terhadap standar. Standar telah dikembangkan dalam sejumlah upaya; misalnya, spesifikasi ISO 9600 untuk format penyimpanan fisik memungkinkan produsen, pengembang data, atau pengguna mana pun untuk membuat, membaca, menulis, atau berbagi data pada hard drive, disk optik, kaset, atau perangkat penyimpanan lainnya.

Bisnis dan banyak organisasi lain pada dasarnya memiliki kepentingan kepemilikan dalam entri data spasial, penyimpanan, dan metode yang mereka hasilkan. Banyak vendor bertahan hidup dengan pendapatan yang dihasilkan produk GIS mereka, sehingga memiliki minat yang kuat untuk melindungi investasi dan kekayaan intelektual mereka. Namun, pengembang juga dapat memacu adopsi paket GIS mereka dan mempercepat pengembangan perangkat lunak pelengkap dengan membuat kerja internal beberapa bagian dari paket GIS mereka menjadi pengetahuan publik, misalnya, dengan menerbitkan struktur dan format data yang digunakan untuk menyimpan data spasial mereka. data. Dengan demikian, vendor ini juga memiliki minat yang kuat untuk membuat bagian dari sistem mereka terbuka untuk umum.

Standar terbuka untuk data spasial adalah tanggung jawab Konsorsium OpenGIS. Konsorsium OpenGIS telah mengembangkan kerangka kerja untuk memastikan interoperabilitas. Mereka melakukan ini dengan mendefinisikan satu set umum model data dasar, jenis, domain, dan struktur, satu set layanan yang diperlukan untuk berbagi data spasial, dan spesifikasi untuk memudahkan terjemahan di antara representasi berbeda yang kompatibel dengan standar OpenGIS. Data yang dikembangkan oleh seorang insinyur sipil dan disimpan dalam format

raster pada Arc/Info versi Unix harus mudah diakses oleh ilmuwan tanah yang menggunakan GRASS pada sistem Apple OS-X.

Standar terbuka dalam GIS relatif baru. Sementara sebagian besar vendor perangkat lunak besar, pengembang data, dan organisasi pemerintah dan pendidikan adalah anggota konsorsium OpenGIS, beberapa komponen standar masih dalam pengembangan. Di masa depan, akan ada peningkatan penekanan pada kepatuhan terhadap standar OpenGIS.

15.6.2 Open Source GIS

Perangkat lunak open source berbeda dari kebanyakan perangkat lunak lain karena didistribusikan secara gratis, bersama dengan kode sumbernya. Organisasi open source (www.opensource.org) mensyaratkan bahwa perangkat lunak tidak dengan desain terbatas pada sistem operasi tertentu atau teknologi lain, tidak boleh ada royalti, dan tidak ada diskriminasi eksplisit terhadap bidang usaha, orang, atau kelompok. Tetapi karakteristik utama yang menentukan dari perangkat lunak sumber terbuka adalah jaringan kolaborator akar rumput terbuka yang mengembangkan, mendokumentasikan, dan berbagi kode sumber secara bebas.

Ada banyak jenis perangkat lunak open source, dari sistem operasi hingga pengolah kata, dan termasuk GIS. Proyek perangkat lunak GIS open source diarahkan pada berbagai aplikasi, dan contoh penting termasuk pengembangan GIS tujuan umum (misalnya, GRASS, FMaps) untuk utilitas tertentu (misalnya, MapServer untuk tampilan data spasial berbasis Web, query, dan analisis) atau toolkit untuk mendukung pengembangan perangkat lunak GIS (misalnya, GDAL, shapelib).

Penggunaan open source adalah fenomena besar dan berkembang karena berbagai alasan. Biaya perangkat lunak yang tinggi mendorong banyak organisasi menuju perangkat lunak sumber terbuka. Lisensi untuk beberapa produk komersial adalah puluhan hingga ratusan ribu dolar per tahun untuk beberapa organisasi besar. Jika organisasi ini mempekerjakan staf pemrogram, GIS open source dapat memenuhi kebutuhan geoprocessing dengan biaya yang lebih rendah.

Banyak organisasi menggunakan GIS open source karena produk komersial mungkin tidak menyediakan fungsi atau kemampuan yang diperlukan. Alat analisis struktural tiga dimensi mungkin ada yang memenuhi persyaratan perusahaan pertambangan, sehingga mereka dapat mengembangkan aplikasi khusus. Pengembangan ini mungkin lebih efisien dan lebih murah di lingkungan open source.

Penggunaan open source berkembang di banyak negara karena inisiatif pemerintah yang spesifik. Cina, India, dan Brasil semuanya mendukung perangkat lunak sumber terbuka pada umumnya, dan sistem operasi pada khususnya, untuk menjaga independensi dari perusahaan asing, mengurangi biaya bagi pemerintah dan bisnis lokal, dan mengembangkan keahlian teknologi informasi lokal. Karena negara-negara ini adalah rumah bagi lebih dari sepertiga populasi dunia, tindakan mereka sendiri secara substansial meningkatkan penggunaan GIS open source.

15.6.3 Model Hibrida

Vendor perangkat lunak berpemilik dapat mengadopsi pendekatan perangkat lunak hibrida, di mana mereka berinteraksi dengan perangkat lunak dan sistem terbuka. Ini telah mengambil banyak samaran. Beberapa mungkin hanya mendukung standar, dan memastikan sistem mereka dapat mengakses dan menghasilkan formulir data standar industri. Tetapi pendekatan yang lebih lengkap menyediakan kode dalam campuran bagian terbuka dan berpemilik. Kode dasar dapat diberikan secara gratis, dengan biaya untuk ekstensi atau beberapa kemampuan tambahan.

Sebagai alternatif, mungkin ada biaya untuk kode dasar, tetapi kode sumber yang cukup atau kepatuhan terhadap standar terbuka sehingga ekstensi sumber terbuka dapat dengan mudah ditambahkan nanti. Ini memungkinkan pengembangan "ekosistem" ekstensi di sekitar aplikasi dasar, baik yang berpemilik maupun open source.

15.7 KESIMPULAN

GIS adalah kumpulan dinamis dari model konseptual, alat, dan metode yang menggunakan data spasial. Dengan demikian mereka akan terus berkembang. Apa yang menjadi praktik standar di masa depan mungkin sangat berbeda dengan metode yang kita terapkan saat ini. Namun, set dasar pengetahuan akan tetap tidak berubah. Kami masih akan mengumpulkan data spasial dan atribut, mengadopsi model data spasial untuk mengkonseptualisasikan entitas dunia nyata, dan menggunakan koordinat peta untuk menentukan posisi dalam ruang. Koordinat kemungkinan akan tetap didasarkan pada serangkaian proyeksi peta standar, dan kami akan menggabungkan data spasial dari berbagai kelas entitas untuk memecahkan masalah spasial. Buku ini merupakan upaya untuk memberikan landasan untuk menggunakan alat analisis spasial secara efektif. Saya harap itu telah memberikan informasi yang cukup untuk Anda mulai, dan telah memicu minat Anda untuk belajar lebih banyak

15.8 Soal Latihan

1. Mana dari teknologi baru yang dijelaskan yang kemungkinan memiliki dampak terbesar dalam GIS selama lima tahun ke depan? Mengapa?
2. Apa saja bidang entri, analisis, output, atau penyimpanan data spasial yang sangat membutuhkan inovasi atau metode baru dan lebih baik? Apa hambatan utama untuk kemajuan lebih lanjut ilmu pengetahuan dan teknologi informasi spasial?
3. Apa itu GIS Sumber Terbuka? Bagaimana ini akan mengubah komputasi spasial?

15.9 DAFTAR PUSTAKA

www.gislounge.com

www.nasa.gov general NASA entry point

www.gis.com website sponsor ESRI, informasi umum

www.usgs.gov public domain data dari USGS

eros.usgs.gov another common USGS (untuk gambar dan poin GIS)

www.epa.gov/geospatial/

www.opengeospatial.org open GIS consortium

lidar.cr.usgs.gov, data LiDAR dan deskripsi sistem

www.gpsworld.com/

www.digitalglobe.com data satelit resolusi tinggi

www.gisuser.com

www.directionsmag.com

GIS

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom, M.Kom

BIODATA PENULIS

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom, M.Kom adalah Rektor dari Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM) Semarang yang memiliki banyak pengalaman praktis dalam bidang *e-commerce*sejak Tahun 2002. Beliau mempunyai 3 (tiga) toko *Official Online Store* di China untuk merek Sepeda Raleigh, dengan omzet tahunan pada Tahun 2019 mencapai lebih dari Rp. 35 Milyar rupiah dan terus meningkat. Dr. Joseph T.S memiliki lisensi tunggal sepeda merek “Raleigh” untuk penjualan *Online* di seluruh China. Di samping itu beliau juga memiliki pabrik sepeda dan sepeda listrik merek “Fengjiu”, yaitu Pabrik Sepeda Listrik yang masih tergolong kecil di China. Pengalaman beliau malang melintang di dunia *online store* di China seperti Alibaba, Tmall, Taobao, JD, Aliexpress sangat membantu mahasiswa untuk memiliki pengalaman teknis dan praktis untuk membuka toko *online* bersama beliau.

YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

PENERBIT :
YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK
Jl. Majapahit No. 605 Semarang
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144
Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

ISBN 978-623-6141-64-9 (PDF)

9 786236 141649