



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK



MANAJEMEN PROYEK TEKNIK SIPIL

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM.



Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM.

MANAJEMEN PROYEK TEKNIK SIPIL



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 978-623-8642-51-9 (PDF)



MANAJEMEN PROYEK TEKNIK SIPIL

Penulis :

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM.

ISBN : 978-623-8642-51-9

Editor :

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

Penyunting :

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

Desain Sampul dan Tata Letak :

Irdha Yuniato, S.Ds., M.Kom

Penebit :

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

Anggota IKAPI No: 279 / ALB / JTE / 2023

Redaksi :

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. 08122925000

Fax. 024-6710144

Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :

Universitas STEKOM

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. 08122925000

Fax. 024-6710144

Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara
apapun tanpa ijin dari penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku yang berjudul ***Manajemen Proyek Teknik Sipil*** ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai upaya untuk memberikan wawasan dan pemahaman lebih dalam mengenai dunia proyek di bidang teknik sipil, yang merupakan salah satu cabang ilmu teknik yang memiliki peran penting dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia.

Manajemen Proyek teknik sipil mencakup berbagai aspek yang sangat kompleks, mulai dari perencanaan, desain, pengelolaan sumber daya, hingga pelaksanaan dan pemeliharaan infrastruktur. Buku ini hadir untuk membahas secara komprehensif mengenai tahapan-tahapan dalam pelaksanaan proyek, mulai dari persiapan, perencanaan, hingga evaluasi pasca konstruksi. Diharapkan, buku ini dapat memberikan panduan yang bermanfaat baik bagi para mahasiswa, profesional, maupun praktisi di bidang teknik sipil dalam menjalankan proyek-proyek teknik sipil yang berkualitas dan berkelanjutan.

Buku ini terdiri dari 12 bab yang mencakup berbagai topik fundamental hingga aplikasi praktis dalam manajemen teknik sipil. Dimulai dengan BAB 1: Survei Fundamental, yang membahas dasar-dasar survei sebagai fondasi penting dalam manajemen proyek teknik sipil, dilanjutkan dengan BAB 2: Perataan, yang mengulas teknik-teknik perataan yang diperlukan untuk mempersiapkan lahan sebelum konstruksi. BAB 3: Relief dan Potongan Vertikal menyajikan analisis relief tanah dan potongan vertikal yang krusial dalam perencanaan proyek, sementara BAB 4: Total Station Pengukuran dan Perhitungan memperkenalkan penggunaan alat total station untuk pengukuran dan perhitungan yang akurat. Dalam BAB 5: Melintasi, dijelaskan prosedur melintasi sebagai bagian dari survei lapangan, diikuti oleh BAB 6: Perataan Diferensial Total Station, yang menggali lebih dalam tentang teknik perataan diferensial menggunakan total station. BAB 7: Strike dan Dip pada Bidang Tertanam menganalisis konsep strike dan dip yang penting dalam geologi teknik, sedangkan BAB 8: Lengkung Melingkar menyajikan teknik perancangan lengkung melingkar dalam infrastruktur jalan dan rel. BAB 9: Kurva Vertikal mengulas pentingnya kurva vertikal dalam desain jalan untuk keselamatan dan kenyamanan pengguna. Selanjutnya, BAB 10: Sistem Satelit Navigasi Global menjelaskan aplikasi sistem navigasi satelit dalam survei dan pemetaan, diikuti oleh BAB 11: Penataan Struktur Teknik, yang menguraikan prinsip-prinsip penataan struktur yang efisien dan efektif. Terakhir, BAB 12: Transformasi Koordinat dan Solusi Kuadrat Terkecil membahas metode transformasi koordinat serta penerapan solusi kuadrat terkecil dalam analisis data. Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi para pembaca dalam memahami konsep-konsep kunci di bidang manajemen teknik sipil.

Semoga buku ini dapat menginspirasi dan membantu meningkatkan kompetensi di bidang teknik sipil, serta menjadi referensi yang berguna dalam mewujudkan infrastruktur yang lebih baik, aman, dan berkelanjutan. Semoga buku ini dapat menginspirasi dan membantu meningkatkan kompetensi di bidang teknik sipil.

Semarang, November 2024

Penulis

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
BAB 1 SURVEI FUNDAMENTAL	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Definisi	1
1.3 Survey Bidang Dan Geodetik	2
1.4 Teknik Pengukuran	4
1.5 Jenis Pengukuran	6
BAB 2 PERATAAN	10
2.1 Pendahuluan	10
2.2 Definisi Terminology Perataan	10
2.3 Contoh Kasus Austalian Height Datum (AHD)	12
2.4 Instrumentasi: Level Otomatis Dan Tongkat	15
2.5 Teknik Pengukuran Dan Pengurangan	20
2.6 Contoh Perataan Untuk Control Ketinggian	27
2.7 Kesalahan Dalam Strategi Manajemen Dan Perataan	33
BAB 3 RELIEF DAN POTONGAN VERTIKAL	37
3.1 Pendahuluan	37
3.2 Definisi	37
3.3 Aplikasi: Desain Jalan	41
3.4 Perhitungan Penampang Melintang Jalan Dalam Operasi Gali Dan Timbun	42
3.5 Perhitungan Volume Tanggul Jalan dalam Galian dan Timbunan	52
3.6 Skala Rencana, Horizontal Dan Vertikal	52
3.7 Eksaggerasi Vertikal	53
3.8 Ketsa Dan Gambar Rencana	53
3.9 Perhitungan Volume Tanggul Dari Lereng Terjal	54
BAB 4 TOTAL STATION PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN	67
4.1 Pendahuluan	67
4.2 Instrumentasi Dan Pengoperasian	67
4.3 Pengukuran	75
4.4 Konstanta Prisma, Mengapa Banyak Diributkan?	77
4.5 Pengukuran Sudut	82
4.6 Pengukuran Total Stasiun Gabungan	84
4.7 Perhitungan	85
4.8 Kesalahan Dan Kekeliruan Pengamatan	91
BAB 5 MELINTASI	93
5.1 Pendahuluan	93
5.2 Definisi Dan Aplikasi	93
5.3 Prosedur Lintas	95
5.4 Reduksi Catatan Lapangan	96

5.5	Contoh: Penataan Dan Penyesuaian Titik Control Untuk Control Lokasi	101
5.6	Sumber Kesalahan Dalam Melintasi	110
BAB 6	PERATAAN DIFERENSIAL TOTAL STATION	111
6.1	Pendahuluan	111
6.2	Perambatan Kesalahan Dalam Perataan Trigonometri	111
6.3	Perhitungan Koordinat Tiga Dimensi Dari Observasi	115
BAB 7	STRIKE DAN DIP PADA BIDANG TERTANAM	123
7.1	Pendahuluan	123
7.2	Strike Dan DIP	123
7.3	Strike Dan DIP Pada Bidang	123
7.4	Menentukan Strike Dan DIP Dari Bidang	124
7.5	Ketebalan Sambungan	130
7.6	Kedalaman Ke Lapisan	131
7.7	Arah Setiap Lereng Di Atas Permukaan Kemiringan	133
7.8	Sudut Horizontal Yang Diproyeksikan Ke Bidang Miring	134
BAB 8	LENGKUNG MELINGKAR	139
8.1	Pendahuluan	139
8.2	Membuat Kurva Lingkaran – Proses Visualisasi	141
8.3	Menata Kurva Lingkaran	149
8.4	Perhitungan Untuk Latihan Praktik Lapangan	150
8.5	Jalan Dalam Proses Penambangan	154
BAB 9	KURVA VERTIKAL	157
9.1	Pendahuluan	157
9.2	Elemen Kurva Vertikal	158
9.3	Kalkulus Parabola	161
9.4	Hitung RL Titik Sepanjang Kurva Vertikal	167
BAB 10	SISTEM SATELIT NAVIGASI GLOBAL	177
10.1	Pendahuluan	177
10.2	Gnss, Sebuah Revolusi Bagi Industri Pertambangan Dan Teknik Sipil	178
10.3	Desain Dan Pengoperasian GPS	180
10.4	Kesalahan Dalam Pengukuran GPS	182
BAB 11	PENATAAN STRUKTUR TEKNIK	188
11.1	Pendahuluan	188
11.2	Survei Kontrol	189
11.3	Melaksanakan Proyek Konstruksi Teknik	190
BAB 12	TRANSFORMASI KOORDINAT DAN SOLUSI KUADRAT TERKECIL	202
12.1	Pendahuluan	202
12.2	Definisi	202
12.3	Metode Transformasi	204
12.4	Penerjemahan Koordinat Teknik Yang Sangat Bermanfaat	221
12.5	Reseksi Ke Titik Dengan EDM Solusi Kuadrat Terkecil	223
12.6	Solusi Kuadrat Terkecil Dari Masalah Trilaterasi Yang Ditentukan Berlebih	228
Daftar Pustaka	233

BAB 1

SURVEI FUNDAMENTAL

1.1 PENDAHULUAN

“Sesungguhnya, bagian terpenting dari pekerjaan teknik—dan juga pekerjaan ilmiah lainnya—adalah penentuan metode penyelesaian masalah, apa pun itu, baik penyelidikan eksperimental, atau perhitungan teoritis. ... Dengan memilih metode penyelesaian yang tepat, masalah rumit dapat disederhanakan menjadi fenomena sederhana, dan kemudian dipecahkan dengan mudah.” Charles Proteus Steinmetz.

Bab ini memperkenalkan dasar-dasar survei yang akan dibahas dalam buku ini. Tujuan dari bab ini adalah agar setelah mahasiswa teknik sipil atau tambang mempelajarinya dan mengikuti lokakarya yang diperlukan, mereka harus:

- Mampu mendefinisikan survei.
- Mengetahui berbagai jenis survei.
- Mampu mengklasifikasikan kesalahan dalam survei.
- Mengetahui aturan dasar pencatatan catatan lapangan.
- Mengenali instrumentasi yang relevan untuk melakukan survei teknik.
- Ketahui rumus trigonometri dasar yang digunakan dalam survei.

1.2 DEFINISI

Survei

Survei secara tradisional didefinisikan sebagai penentuan lokasi titik-titik di atau dekat permukaan Bumi. Definisi yang lebih modern adalah "pengumpulan, pemrosesan, dan pengelolaan informasi spasial". (Uren dan Price 2010). Survei penting untuk berbagai aplikasi yang mencakup, misalnya kepemilikan tanah, teknik, pertambangan, navigasi laut, pemetaan, dan masih banyak lagi.

Teknik dan Survei Tambang

Survei teknik adalah cabang survei yang terutama menangani konstruksi, pemantauan deformasi, lingkungan industri dan binaan (lihat Gambar 1.1) sedangkan survei tambang dilakukan untuk mendukung kegiatan pertambangan melalui penyediaan titik kontrol untuk lokasi pertambangan. Kontrol ini digunakan untuk konstruksi infrastruktur dan juga untuk koordinasi titik-titik di dalam area pertambangan. Selain teknik dan survei tambang, jenis survei lainnya meliputi:

- *Survei kadaster*, yang berkaitan dengan penentuan batas properti. Baik untuk kepemilikan properti atau pengembangan lahan, pengetahuan tentang siapa yang memiliki properti apa akan selalu dibutuhkan.
- *Survei topografi*, yang berkaitan dengan pembuatan peta pada berbagai skala. Peta-peta ini mendukung berbagai penggunaan, mulai dari pengintaian hingga membantu pengelolaan banjir dalam teknik sipil, untuk tujuan eksplorasi dan penyelamatan

dalam pertambangan, pemetaan fitur yang berubah secara spasial, misalnya, perubahan batas lahan basah dalam pemantauan lingkungan, hingga peta jenis tanah untuk membantu keputusan pengelolaan lahan. Bab 4 mengeksplorasi peran peta topografi secara terperinci.

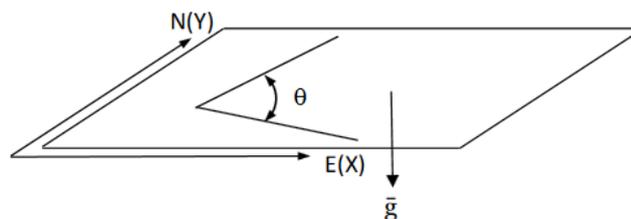
- *Survei fotogrametri*, yang menggunakan teknologi fotogrametri untuk tujuan pemetaan.
- *Survei kontrol*, yang dilakukan untuk menyediakan kontrol horizontal dan vertikal. Kontrol ini pada gilirannya menyediakan kerangka kerja yang menjadi dasar lokasi selanjutnya. Jenis survei ini dilakukan dengan lebih akurat daripada jenis survei lainnya dan sering kali melibatkan penggunaan peralatan yang lebih presisi.
- *Survei hidrografi*, yang dilakukan untuk keperluan kelautan dan juga dapat digunakan untuk mengukur perubahan permukaan laut. Ini merupakan indikator penting untuk memantau dampak perubahan iklim.
- *Survei satelit*. Meskipun ini dapat dilakukan secara lokal untuk mendukung kegiatan pembangunan, fungsinya berorientasi global dan akan dibahas secara rinci dalam Bab 10.
- *Sistem survei inersia*, yang terdiri dari tiga akselerometer yang dipasang secara ortogonal dalam arah yang diketahui, relatif terhadap ruang inersia, pada platform stabil yang digunakan untuk mengukur perubahan posisi tiga dimensi, serta panjang dan arah vektor gravitasi. Eksposisi mendalam dari sistem ini disajikan, misalnya, oleh Cross 1985 yang mencantumkan keuntungan dari sistem tersebut sebagai lebih cepat, independen dari refraksi sinyal pengukuran, dan independen dari organisasi eksternal tidak seperti sistem satelit navigasi global (GNSS) yang dibahas dalam Bab 10. Seperti GNSS, sistem ini segala cuaca dan sepanjang hari tetapi mahal untuk dibeli, dan hanya dapat digunakan dalam mode interpolatif. Penggunaannya meliputi: penyediaan kontrol fotogrametri, pemadatan jaringan kontrol nasional, survei rute misalnya, untuk jaringan pipa, saluran listrik dan jalan, survei kadaster, pemasangan alat bantu navigasi dan survei geofisika. Untuk survei geofisika, aplikasi langsung yang akan mendukung kegiatan pertambangan adalah pengukuran gravitasi. Dalam beberapa kegiatan penginderaan jarak jauh, ia dapat memberikan informasi tentang posisi dan sikap sensor dan dapat dikombinasikan dengan sistem navigasi satelit untuk memberikan posisi waktu nyata di lepas pantai.

1.3 SURVEI BIDANG DAN GEODETIK

Definisi survei yang diberikan dalam Bagian 1.1 dicapai melalui jarak dan pengukuran sudut, yang diubah menjadi koordinat untuk menunjukkan posisi horizontal, sementara ketinggian diukur relatif terhadap referensi yang diberikan, yaitu dimensi vertikal.

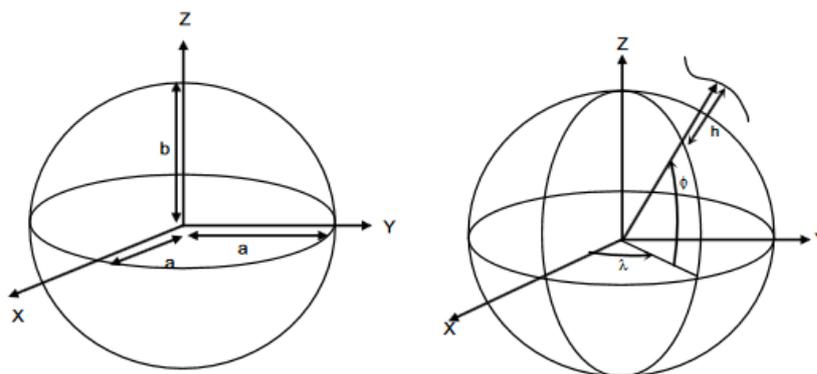
Survei memainkan peran penting dalam menentukan kepemilikan tanah, teknik, pemetaan, navigasi laut, dan pemantauan lingkungan melalui penentuan ketinggian penurunan tanah antropogenik di antara penggunaan lainnya. Misalnya, survei memainkan peran penting dalam memantau deformasi struktur seperti bendungan, jembatan, bangunan,

dan banyak lainnya. Kekuatan utama survei adalah bahwa ia beroperasi secara lokal, pada tingkat di mana sebagian besar kegiatan pembangunan berlangsung. Survei dapat dilakukan dalam bentuk survei bidang, di mana permukaan horizontal datar digunakan untuk menentukan permukaan lokal Bumi dan vertikal dianggap tegak lurus terhadap permukaan ini (Gambar 1.1). Oleh karena itu, survei bidang menggunakan bidang horizontal sebagai referensi komputasi dan arah vertikal ditentukan oleh vektor gravitasi lokal, yang dianggap konstan. Semua sudut yang diukur adalah sudut bidang, dan metode ini berlaku untuk area dengan ukuran terbatas. Berbeda dengan survei bidang, survei geodetik menggunakan permukaan Bumi yang melengkung sebagai referensi komputasi, misalnya, elipsoid revolusi (Gambar 1.2). Elipsoid revolusi dianggap mendekati bentuk Bumi, dan membentuk permukaan tempat penentuan posisi GNSS (Bab 10) dilakukan. Keduanya dapat digunakan untuk teknik sipil dan pertambangan pada skala lokal (survei bidang) dan skala global atau regional (survei geodetik) seperti yang akan dibahas dalam bab-bab berikutnya.



Gambar 1.1 Survei bidang.

Survei geodesi, Gambar 1.2, didasarkan pada elipsoid revolusi dengan a dan b masing-masing menjadi sumbu semi-mayor dan semi-minor elipsoid. Posisi suatu titik pada elipsoid referensi akan ditentukan oleh lintang ϕ , bujur λ , dan ketinggian h .



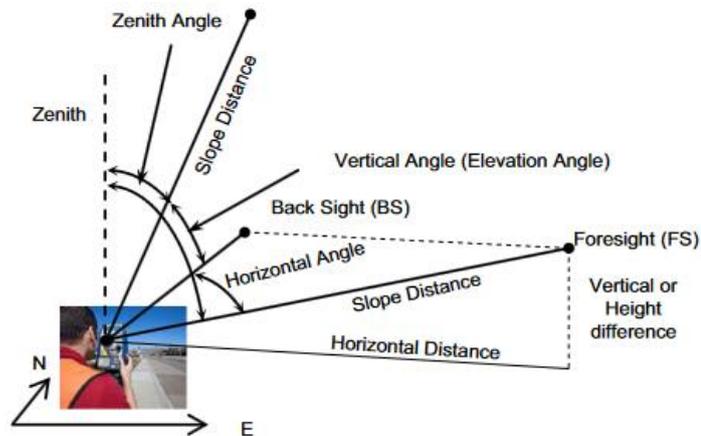
Gambar 1.2 Elipsoid revolusi

Perbedaan antara survei bidang dan geodesi adalah bahwa survei bidang mengasumsikan permukaan bumi yang datar dan horizontal, sedangkan vertikal dianggap tegak lurus terhadap permukaan ini. Di sisi lain, survei geodesi memperhitungkan bentuk bumi yang sebenarnya seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.2.

1.4 TEKNIK PENGUKURAN

Pengukuran dan Instrumen Survei Bidang

Survei bidang mengukur besaran linier dan sudut (Gambar 1.3). Pengukuran linier berbentuk jarak horizontal, misalnya, diukur secara langsung dengan level atau secara tidak langsung menggunakan Total Station. Dalam mengukur jarak horizontal atau lereng dengan Total Station (Gambar 1.4), pengukuran jarak elektromagnetik digunakan. Pengukuran tidak langsung perbedaan ketinggian (jarak vertikal) menggunakan instrumen Total Station menggunakan jarak lereng dan elevasi atau sudut vertikal. Perbedaan ketinggian dapat diukur secara langsung menggunakan level (Gambar 1.5).



Gambar 1.3 Sudut survei.



Gambar 1.4 Total Station dan prisma



Gambar 1.5 Level dan staf.

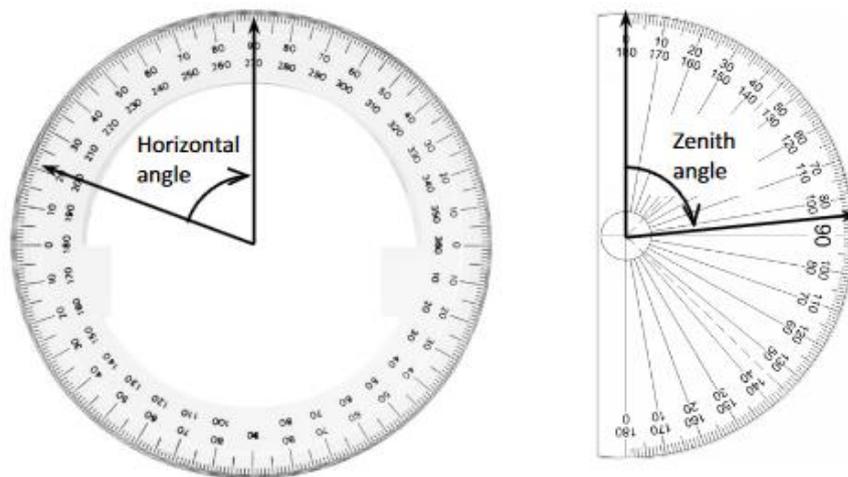
Pengukuran sudut ada tiga jenis, yaitu sudut vertikal atau elevasi, sudut zenith, dan sudut horizontal (Gambar 1.3). Sudut vertikal atau elevasi terhadap suatu titik diukur dengan mengacu pada bidang horizontal sedangkan sudut zenith diukur terhadap arah zenith atau vertikal, di mana sudut vertikal α diberikan sebagai

$$\alpha = 90^\circ - z$$

dan z adalah sudut zenith. Sudut horizontal diperoleh pada bidang horizontal dengan mengambil selisih antara dua arah. Total Station digunakan untuk mengukur sudut yang dibahas di atas. Kita dapat melihat Total Station terbuat dari dua busur derajat. Busur derajat 360° yang ditandai dalam derajat ditempatkan pada bidang horizontal dan digunakan untuk mengukur sudut horizontal, dan busur derajat setengah lingkaran pada bidang vertikal digunakan untuk mengukur sudut vertikal/zenith (Gambar 1.6).

Teknik Pengukuran Geodesi

Untuk survei geodesi, metode pengukuran yang mencakup rentang spasial yang lebih luas seperti wilayah, benua, atau seluruh dunia sangat penting.



Gambar 1.6 Busur derajat yang menentukan bentuk Total Station

Busur derajat lengkap digunakan untuk mengukur sudut/arah horizontal sedangkan busur derajat setengah digunakan untuk mengukur sudut vertikal/sudut zenith.

Metode tersebut berguna untuk proyek rekayasa skala besar seperti pembangunan jalan raya antar kota. Ini termasuk tetapi tidak terbatas pada metode penentuan posisi global, misalnya, dengan Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS) yang dibahas dalam Bab 10, metode altimetri Satelit, Satelit Laser Ranging (SLR) dan Lunar Laser Ranging, Radar Apertur Sintetis Interferometrik (InSAR), dan Interferometri Garis Dasar Sangat Panjang (VLBI).

Prinsip Dasar Pengukuran dan Manajemen Kesalahan

Dalam survei, seperti halnya geodesi, ada prinsip dasar pengukuran yang harus dipatuhi untuk mencapai hasil yang diinginkan yang memuaskan klien dan operator (surveyor). Prinsip ini mencakup penyelesaian tugas pengukuran dalam waktu sesingkat mungkin dan dengan biaya serendah mungkin. Hal ini dapat bermanfaat bagi proyek teknik yang anggaran keuangannya untuk penggalian terbatas. Lebih jauh, tugas harus diselesaikan sesuai dengan instruksi dan menggunakan instrumen dengan presisi yang sesuai. Catatan lapangan sangat penting dan menjadi bagian dari bukti hukum di pengadilan jika terjadi perselisihan. Berikut ini harus dipertimbangkan.

Catatan lapangan adalah catatan permanen dari pekerjaan yang dilakukan di lapangan dan harus menyeluruh, rapi, akurat, dan dijaga dengan hati-hati. Kesalahan dalam buku lapangan tidak pernah dihapus tetapi dicoret dengan satu garis horizontal di tengah.

Format catatan lapangan khusus tersedia untuk berbagai jenis survei. Hal ini sangat penting untuk survei kadaster, di mana catatan dapat digunakan sebagai bukti dalam kasus pengadilan. Akhirnya, untuk tujuan mitigasi dan manajemen, guna memperoleh hasil yang akurat, jenis kesalahan dalam pengukuran survei dan sumbernya yang harus diperhatikan meliputi:

- Alami
 - Akibat media tempat pengamatan dilakukan.
 - Faktor: Angin, suhu, kelembaban, dll.
- Instrumental
 - Akibat ketidaksempurnaan dalam konstruksi atau penyetelan instrumen.
 - Dapat dikurangi atau dihilangkan dengan kalibrasi dan/atau prosedur pengamatan.
- Pribadi
 - Keterbatasan dalam kemampuan operator.
 - Dapat ditingkatkan dengan latihan.
 - Contoh: Kemampuan membaca skala vernier, kemampuan mengarahkan garis bidik dengan akurat, dll.
- Kesalahan, juga disebut kesalahan besar atau kekeliruan.
 - Biasanya, tetapi tidak selalu, besarnya besar.
 - Contoh: Membaca pita dengan tidak benar, mengubah angka, yaitu Jarak 15,369 m terbaca sementara 15,396 m tercatat di buku lapangan.
- Kesalahan sistematis (deterministik)
 - Kesalahan yang mengikuti hukum fisika atau geometri tertentu.
 - Efeknya dapat dimodelkan secara matematis dan, dengan demikian, dikoreksi.
 - Contoh: Pembiasan garis pandang, ekspansi termal pita baja.
- Kesalahan acak (apa yang tersisa)
 - Kesalahan yang tidak dapat dimodelkan dan dikoreksi: variasi acak.
 - Diatur oleh model probabilistik atau stokastik.

1.5 JENIS PENGUKURAN

Pengukuran Linier

Pengukuran linier berkaitan dengan jarak (kemiringan, horizontal atau vertikal), yang biasanya diperlukan untuk memetakan posisi detail saat pemetaan dan juga untuk skala peta (lihat Bab 4). Jarak horizontal dan vertikal berguna untuk pemetaan, penyediaan kontrol, dan pemantauan perubahan spasial dan vertikal fitur. Kemiringan dan jarak vertikal penting untuk menetapkan struktur konstruksi, di mana jarak vertikal berguna dalam pemindahan ketinggian dari lantai ke lantai di gedung bertingkat atau di pertambangan, yaitu, memindahkan jarak dari permukaan ke bawah tanah.

Pengukuran jarak dapat dilakukan dengan menggunakan, misalnya, pita pengukur (untuk jarak pendek) atau pengukuran jarak elektromagnetik (EDM). Kesalahan yang terkait dengan pengukuran pita pengukur meliputi kesalahan instrumental (misalnya, panjang yang salah saat pita pengukur terlalu pendek atau terlalu panjang), kesalahan alami (misalnya, pemuaian atau penyusutan pita baja yang disebabkan oleh perubahan suhu) atau kesalahan pribadi seperti pembacaan pita yang salah atau penyelarasan yang buruk saat mengukur jarak. EDM saat ini merupakan alat yang paling umum digunakan untuk mengukur jarak. Alat ini dapat diklasifikasikan menurut sumber radiasi (optik atau gelombang mikro), prinsip pengukuran (fase atau pulsa), atau apakah reflektor diperlukan atau tidak (misalnya, tanpa reflektor). Prinsip pengoperasian melibatkan sinyal yang dipancarkan dari Total Station ke beberapa reflektor, yang memantulkan sinyal kembali ke emitor. Jarak kemudian diperoleh dari persamaan dasar:

$$\text{Kecepatan} = \frac{\text{Jarak}}{\text{Waktu}}$$

karena kecepatan cahaya c sudah diketahui, dan waktu yang dibutuhkan sinyal untuk bergerak dari emitor dan kembali diukur, katakanlah Δt , maka jarak yang diukur oleh instrumen EDM menjadi:

$$d = \frac{c\Delta t}{2}$$

Pembagian dengan 2 adalah karena sinyal menempuh jarak dua kali lipat (yaitu, dari pemancar ke reflektor dan kembali). Metode fase, di mana sinyal menempuh jarak dalam bentuk sinusoidal adalah metode pengukuran jarak yang paling umum ditemukan dalam instrumen survei. Namun, metode pulsa menggunakan laser pulsa menjadi lebih umum khususnya untuk instrumen tanpa reflektor. Kesalahan yang terkait dengan EDM dibahas secara terperinci, misalnya, dalam Uren dan Price (2010).

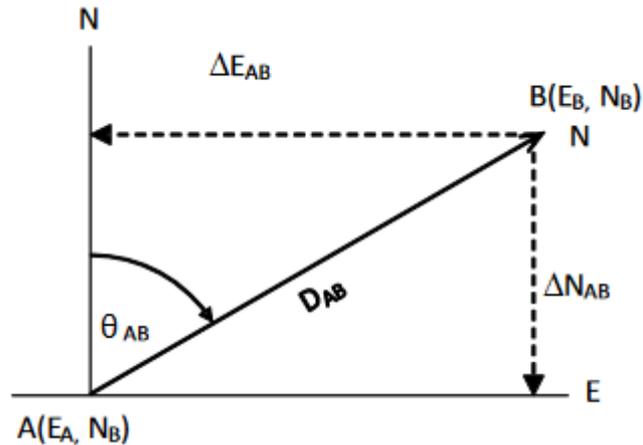
Penyeberangan

Penyeberangan, yang dibahas secara rinci dalam Bab 5, adalah teknik survei yang digunakan untuk menentukan posisi planar (Easting dan Northing: E_B dan N_B , Gambar 1.7) dari titik kontrol atau titik pengaturan menggunakan sudut terukur θ_{AB} dan jarak D_{AB} (Gbr. 1.6). Posisi titik B yang diperoleh relatif terhadap A diberikan sebagai:

$$\Delta E_{AB} = E_B - E_A = D_{AB} \sin \theta_{AB}$$

$$\Delta N_{AB} = N_B - N_A = D_{AB} \cos \theta_{AB}$$

di mana E_A dan N_A merupakan posisi planar titik A yang diketahui.

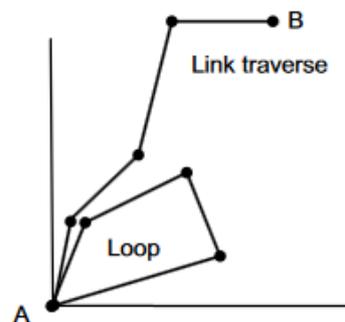


Gambar 1.7 Lintasan

D_{AB} adalah jarak antara titik A dan B, sedangkan θ_{AB} adalah sudut yang diukur dari Utara sebenarnya dari titik A ke titik B.

Aplikasi traverse mencakup penetapan titik kontrol yang berguna untuk keperluan konstruksi atau untuk menggambarkan batas fitur, kontrol horizontal untuk pembuatan peta topografi (lihat misalnya, Bab 4) dan juga untuk peta detail untuk pekerjaan teknik, penetapan posisi planar titik selama konstruksi (set-out), untuk perhitungan luas dan volume, dan kontrol tanah yang diperlukan untuk pemetaan fotogrammetri.

Traverse dapat berbentuk terbuka atau tertutup. Rute tertutup dapat dimulai dari titik yang diketahui dan berakhir di titik lain yang diketahui (misalnya, dari A ke B pada Gambar 1.8). Jenis traverse ini juga dikenal sebagai traverse link. Jika traverse dimulai dari titik yang diketahui dan ditutup pada titik yang sama, maka itu dikenal sebagai traverse loop. Traverse terbuka dimulai dari titik yang diketahui tetapi tidak berakhir pada titik yang diketahui pada Gambar 1.9.



Gambar 1.8 Lintasan tertutup.

Lintasan tertutup dimulai dari titik yang diketahui dan berakhir di stasiun lain yang diketahui.



Gambar 1.9 Lintasan terbuka.

Lintasan terbuka dapat dimulai dari titik yang tidak diketahui dan berakhir di stasiun lain yang tidak diketahui.

Sebagian besar rincian yang dibahas dalam Bab Pendahuluan ini akan diuraikan dalam bab-bab berikutnya. Yang penting adalah bahwa mahasiswa harus mengetahui tujuan survei untuk teknik sipil dan pertambangan, jenis pengukuran, dan kesalahan yang mendasari pengukuran tersebut.

BAB 2

PERATAAN

2.1 PENDAHULUAN

Bab ini memperkenalkan Anda pada teori dan keterampilan praktis perataan, sebuah proses penentuan elevasi (ketinggian) atau perbedaan elevasi. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan perataan diferensial menggunakan level (dibahas dalam Bab ini) atau perataan trigonometri menggunakan Total Station (dibahas dalam Bab 6). Perataan dapat digunakan dalam semua aspek survei. Khususnya untuk teknik dan pertambangan, perataan digunakan dalam:

- Menetapkan kendali vertikal.
- Menetapkan ketinggian titik selama konstruksi.
- Survei rute.
- Untuk tujuan kontur.
- Untuk penampang jalan atau volume pekerjaan tanah dalam pekerjaan teknik sipil.
- Untuk penyediaan permukaan miring selama konstruksi.
- Untuk merancang pemotongan kotak penurunan dalam pertambangan di antara tugas-tugas lainnya, misalnya, penyelamatan.

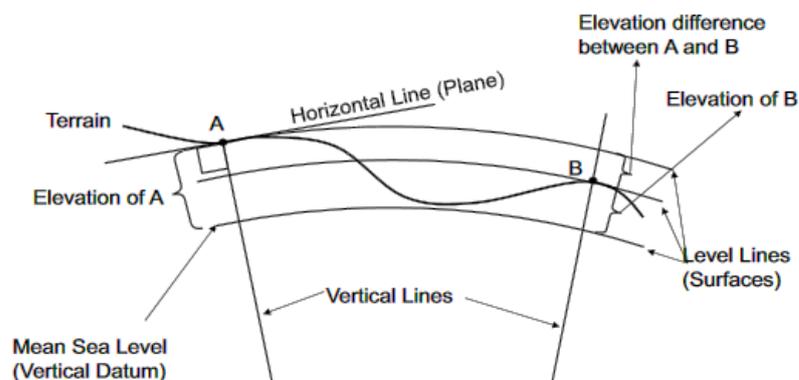
Pada Bab 3, yang membahas representasi relief dan penampang vertikal, Anda akan menggunakan keterampilan perataan yang telah Anda pelajari di Bab ini, Anda akan:

1. Mampu membedakan antara ketinggian, titik acuan, dan titik acuan (BM).
2. Mengetahui dan memahami penggunaan peralatan perataan.
3. Memahami prosedur lapangan untuk perataan.
4. Mampu menghitung elevasi yang dikurangi (RL).
5. Mengetahui sumber kesalahan dalam perataan dan cara mengatasinya.
6. Mengetahui berbagai metode perataan.

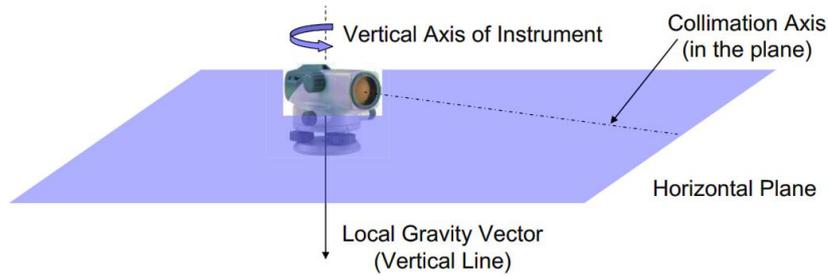
2.2 DEFINISI TERMINOLOGI PERATAAN

- Permukaan datar (lihat Gambar 2.1).
 - Permukaan (melengkung) yang tegak lurus terhadap garis tegak lurus di mana-mana. o Lebih tepatnya permukaan ekuipotensial yang potensial gravitasinya konstan.
 - Perairan yang tenang dan tidak terpengaruh oleh pasang surut adalah analogi yang baik.
 - Keduanya tidak berjarak sama, tetapi bertemu dan menyimpang karena perubahan kepadatan.
- Garis vertikal (lihat Gambar 2.1 dan Gambar 2.2).
 - Arah gravitasi.
 - Oleh karena itu, arah ditunjukkan oleh garis tegak lurus.

- Secara umum, garis tersebut menyimpang dari garis yang berasal dari pusat geometris Bumi.
- Pada kenyataannya, garis tersebut melengkung, tetapi ini dapat diabaikan dalam survei bidang kecil.
- Bidang horizontal (lihat Gambar 2.2).
 - Bidang yang bersinggungan dengan permukaan datar (tegak lurus dengan garis tegak lurus).
 - Sumbu kolimasi (garis pandang) dari instrumen pengukur level yang disetel dengan benar. Setelah diratakan, garis tersebut menentukan bidang horizontal saat instrumen diputar.
- Datum vertikal.
 - Setiap permukaan datar yang menjadi acuan ketinggian. o Datum vertikal di Australia adalah Australian Height Datum (AHD).
- Mean Sea Level (MSL).
 - Rata-rata tinggi permukaan laut yang diambil dengan data dari pengukur pasang surut pesisir selama periode 19 tahun.
 - 30 pengukur pasang surut yang digunakan di Australia.
 - 97.230 km pengukuran dua arah yang digunakan dengan data pengukur pasang surut untuk menentukan AHD.
- Titik acuan pasang surut.
 - Rata-rata semua air pasang yang diamati selama periode 19 tahun.
 - Rata-rata air pasang (MHW).
- Ketinggian.
 - Jarak vertikal (ketinggian) di atas titik acuan.
- Titik acuan (BM).
 - Monumen atau fitur permanen yang ketinggiannya diketahui.
 - Kontrol vertikal.
 - Satu set titik acuan yang digunakan untuk "mengontrol ketinggian" suatu proyek.



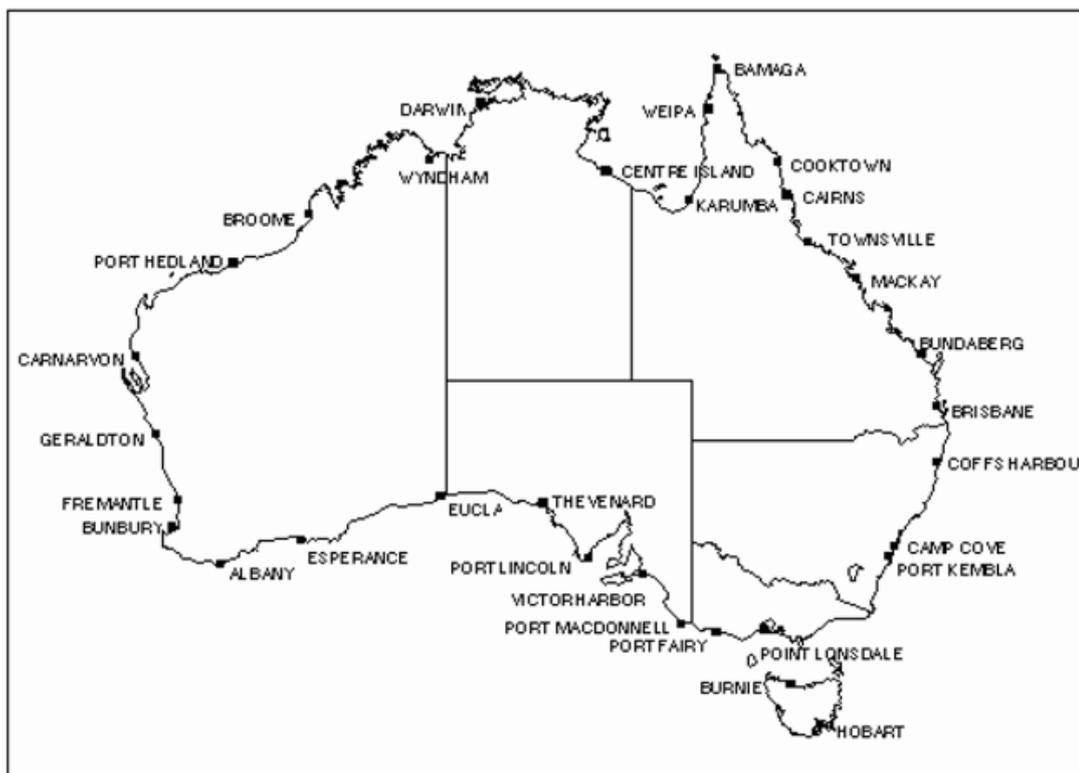
Gambar 2.1 Ilustrasi diagram terminologi perataan.



Gambar 2.2 Bidang horizontal.

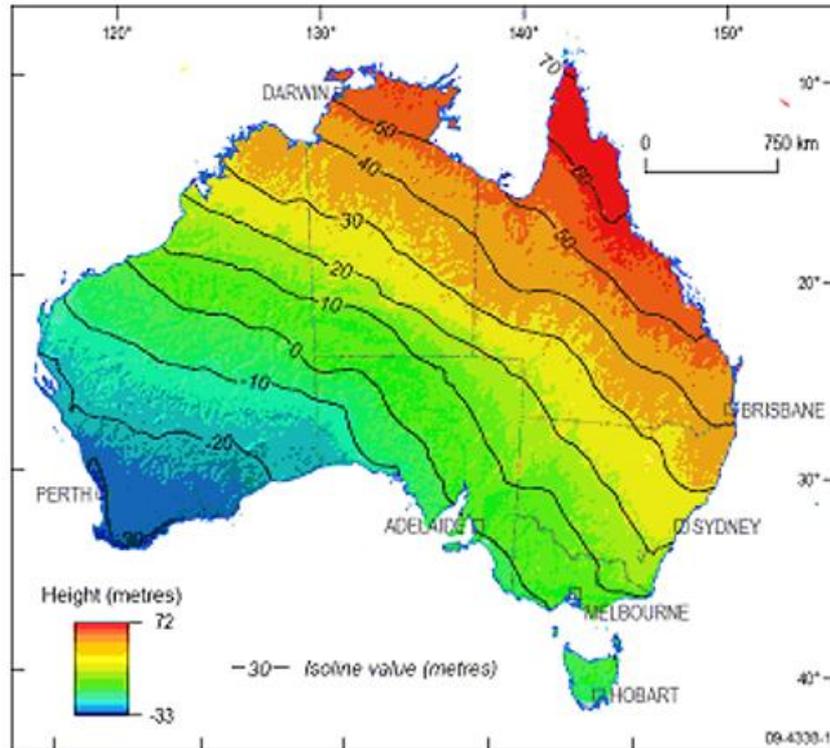
2.3 CONTOH KASUS AUSTRALIAN HEIGHT DATUM (AHD)

Ketinggian di Australia dirujuk ke Australian Height Datum (AHD) yang didefinisikan sebagai permukaan laut rata-rata pada 30 pengukur pasang surut di sekitar Australia, yang diamati antara tahun 1966 dan 1968 (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Peta pengukur pasang surut di Australia. Sumber gambar: Geoscience Australia

Kontrol ketinggian ditetapkan oleh Bench Marks, titik kontrol vertikal yang dikaitkan dengan AHD dengan leveling diferensial. AHD, yang hampir bertepatan dengan geoid (permukaan ekuipotensial yang mendekati permukaan laut rata-rata), bervariasi dari ellipsoid, bentuk matematis Bumi yang diidealkan oleh pemisahan geoid-ellipsoid, N . Nilai N AHD dimodelkan dengan akurasi sekitar 0,03m di atas Australia (Gambar 2.4). Perbedaan antara geoid dan AHD disebabkan oleh perbedaan kepadatan air antara Australia Utara dan Selatan dan memperhitungkan kemiringan $\pm 0,5m$.



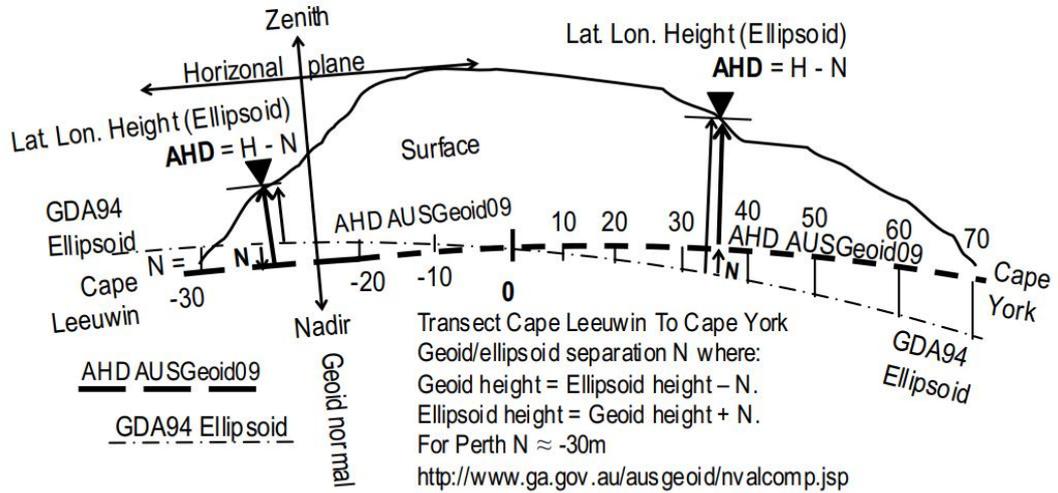
Gambar 2.4 Pemisahan Ausgeoid09 – GDA94, N, di seluruh Australia. $AHD = HGDA94 - N$

Hal penting yang perlu diingat adalah bahwa ketinggian GPS/GNSS (lihat Bab 10) merujuk pada ellipsoid dan ketinggian perataan diferensial merujuk pada geoid. Jadi, setiap ketinggian GPS/GNSS harus dikoreksi ke AHD dengan nilai pemisahan, N , sebelum menggunakan kontrol vertikal turunan GNSS. Model pemisahan AHD/geoid saat ini adalah Ausgeoid09, yang merupakan pemutakhiran dari Ausgeoid98 asli (Featherstone et al. 2001). Yang diilustrasikan dalam Gambar 2.4 adalah isobath 10m dari pemisahan AHD dan Geodetic Datum Australia (GDA94) di atas area model AHD. Variasi nilai N di seluruh Australia dari Cape Leeuwin hingga Cape York ditunjukkan pada Gambar 2.5 - Gambar 2.7. Definisi model adalah AHD, skala pemisahan Ausgeoid09/GDA94 adalah 1:1.250, dan profil medan, yaitu, pemisahan AHD/GDA94 adalah skala 1:12.500.

Transfer ketinggian antara Ellipsoid GDA94 dan Datum Ketinggian Australia dilakukan sebagai berikut:

1. AHD (kira-kira ketinggian di atas permukaan laut rata-rata pada geoid lokal) ditransfer dari Bench Mark menggunakan leveling diferensial atau perbedaan ketinggian trigonometri.
2. Survei ketinggian GNSS (GPS) direferensikan pada ellipsoid GDA94. Ini sangat mirip dengan ellipsoid WGS84 yang digunakan oleh satelit GNSS (lihat Bab 10 untuk pembahasan lebih lanjut).
3. Ketinggian elipsoid GDA94 ditransfer ke AHD menggunakan interpolasi elipsoid grid AUSgeoid09 dari nilai pemisahan AHD – elipsoid, N .
4. N direalisasikan hingga sekitar 0,03 m (1 sigma) di atas Australia, sesuai dengan perataan $k = 12\sqrt{d}$ (orde ke-3).

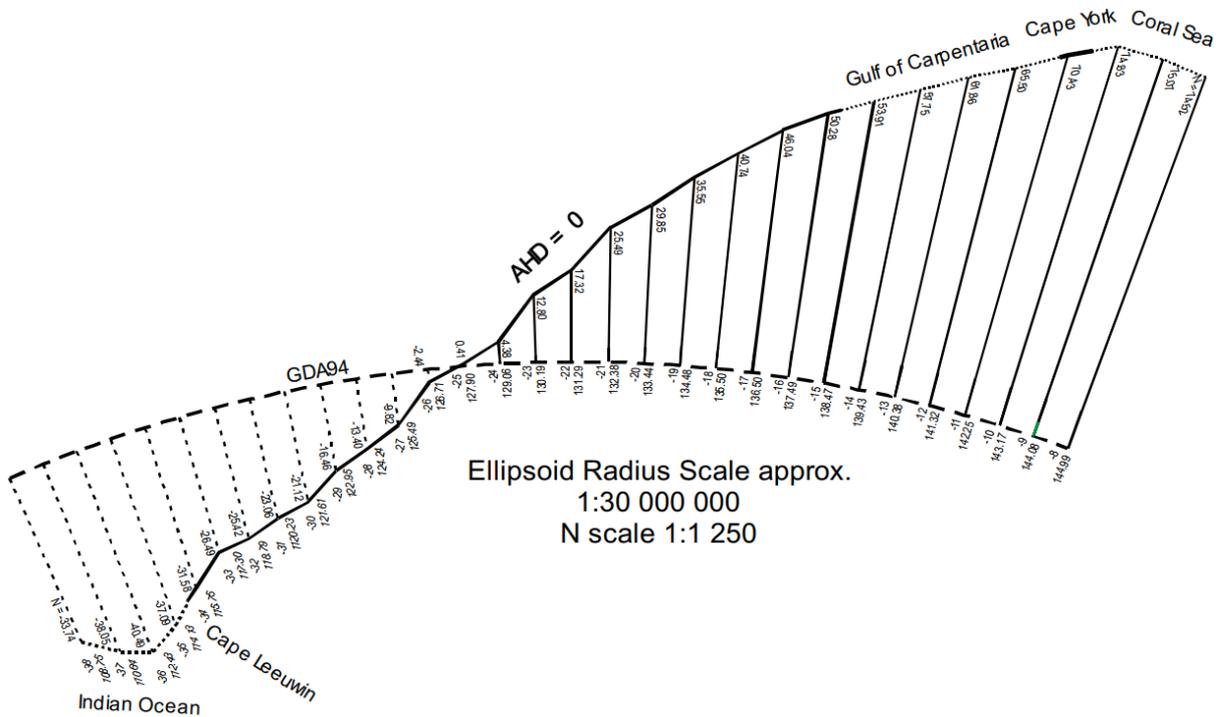
5. Survei GNSS RTK di area lokal dapat memiliki ketinggian elipsoid yang diamati yang ditransfer ke AHD menggunakan nilai N tunggal untuk area tersebut.



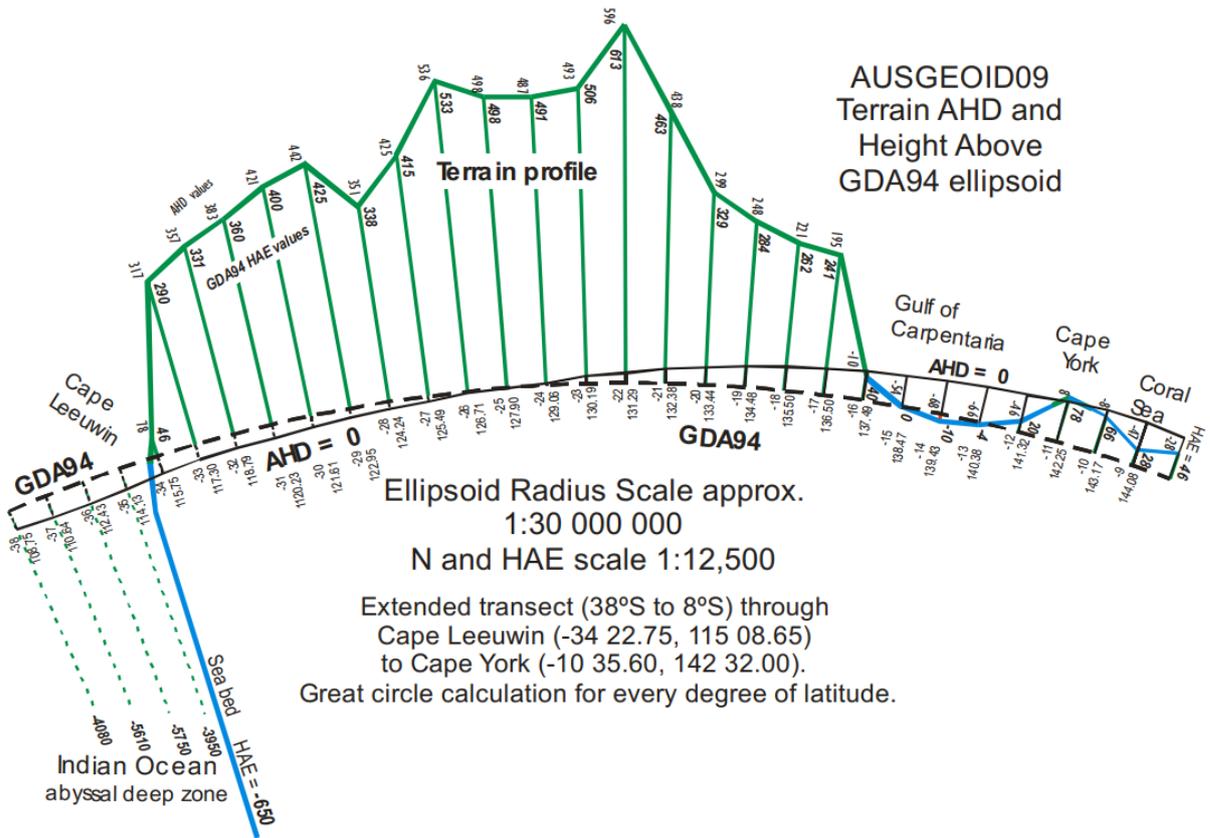
Cape Leeuwin, 34.376S, 115.514E
 Geoid/ellipsoid separation $N = -32.6m$:
 Geoid height = Ellipsoid height - N.
 Ellipsoid height = Geoid height + N.
 At $AHD = 0$, $H_{GDA94} = -32.6$

Cape York, 10.7S, 142.533E
 Geoid/ellipsoid separation $N = +72.3m$:
 Geoid height = Ellipsoid height - N.
 Ellipsoid height = Geoid height + N.
 At $AHD = 0$, $H_{GDA94} = +72.3$

Gambar 2.5 Variasi N dari Cape Leeuwin ke Cape York di Australia.



Gambar 2.6 Skala Gambar 2.5 yang diperbesar 10 kali secara vertikal.
 Variasi N dari Cape Leeuwin ke Cape York di Australia



Gambar 2.7 Medan dan profil dasar laut dari Cape Leeuwin ke Cape York di Australia

2.4 INSTRUMENTASI: LEVEL OTOMATIS DAN TONGKAT

Instrumen yang dibutuhkan untuk melakukan prosedur perataan yang dibahas di Bagian 2.5 adalah level dan tongkat (Gambar 1.5). Selain itu, seseorang mungkin perlu memiliki pita pengukur dan pelat pengganti (pelat logam/plastik yang digunakan pada tanah lunak), lihat Gambar 2.8. "Gelembung" tongkat memastikan tongkat dipegang secara vertikal. Sebelum digunakan, instrumen harus disiapkan dan diratakan seperti yang dibahas di bawah ini.



Gambar 2.8 Perlatan leveling. (a) Level otomatis Leica, (b) Tongkat leveling 5m, (c) Tongkat "gelembung", (d) Plat pengganti, (e) Pita pengukur.

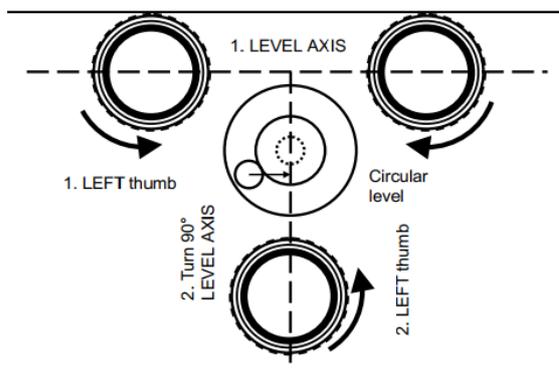
Menyetel instrumen untuk perataan area

Untuk perataan diferensial dengan level otomatis, Anda hanya perlu memusatkan gelembung level melingkar pada pelat instrumen. Kompensator otomatis (bandul) akan memberikan perataan akhir.

Meratakan instrumen

Pasang level pada kepala tripod menggunakan baut tengah (misalnya, Gambar 1.5)

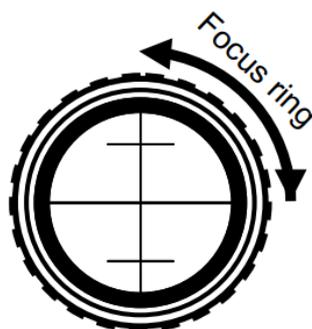
1. Pusatkan tiga sekrup kaki pada pelat dasar (ada tanda titik tengah pada rumah sekrup), lihat Gambar 2.9.
2. Pusatkan level melingkar menggunakan sekrup kaki,
 - putar level hingga porosnya sejajar dengan dua sekrup kaki
 - putar dua sekrup kaki paralel secara bersamaan ke arah yang berlawanan
 - gerakkan gelembung ke arah tengah mengikuti ibu jari KIRI Anda,
 - lalu putar level hingga 90°, tegak lurus dengan sekrup kaki poros pertama,
 - HANYA menggunakan sekrup kaki yang tersisa
 - gerakkan gelembung ke arah tengah mengikuti ibu jari KIRI Anda
 - Anda mungkin perlu mengulangi prosedur untuk memusatkan gelembung dengan benar.



Gambar 2.9 Meratakan instrumen.



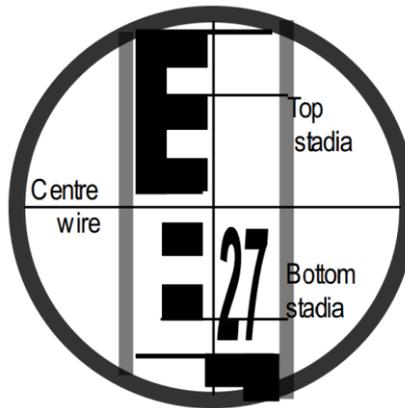
Gambar 2.10 Fokus lensa okuler, level melingkar.



Gambar 2.11 Fokus lensa okuler.



Gambar 2.12 Fokus objek.



Gambar 2.13 Fokus gambar tajam

Memfokuskan instrumen

Pemfokusan yang benar pada lensa okuler dan fokus objek sangat penting untuk pengamatan yang akurat. Poin-poin berikut berlaku untuk semua pengamatan optik. Pemfokusan lensa okuler diatur sekali untuk SETIAP pengamat individu. Namun, pemfokusan objek (lihat Gambar 2.8a, Gambar 2.10), menggunakan kenop pemfokus di sisi teleskop, harus dilakukan untuk SETIAP pengamatan.

Pemfokusan lensa okuler

1. Letakkan kartu berwarna terang di depan lensa OBJEK
2. Saat melihat melalui lensa okuler, putar cincin pemfokusan LENS A MATA (dioptri) hingga ukiran lensa okuler tajam dan gelap (Gambar 2.11).

Pemfokusan objek

1. Arahkan ke tongkat datar, titik yang akan difokuskan.
2. Saat melihat melalui lensa okuler, putar kenop pemfokus OBJEK (Gambar 2.12) hingga gambar terfokus tajam pada reticle (Gambar 2.13).
3. Saat mengamati objek, gerakkan kepala sedikit ke atas dan ke bawah untuk memastikan tidak ada paralaks dalam fokus antara garis pandang reticle dan objek.

Backsight dan Foresight

"Sight" adalah kata yang berarti observasi atau pembacaan.

Backsight (BS) adalah sight (pembacaan) pertama yang diambil setelah menyetel instrumen pada posisi untuk pembacaan. Ini adalah sight awal.

Foresight (FS) adalah sight (pembacaan) terakhir yang diambil sebelum menggerakkan instrumen ke posisi baru. Ini adalah sight akhir.

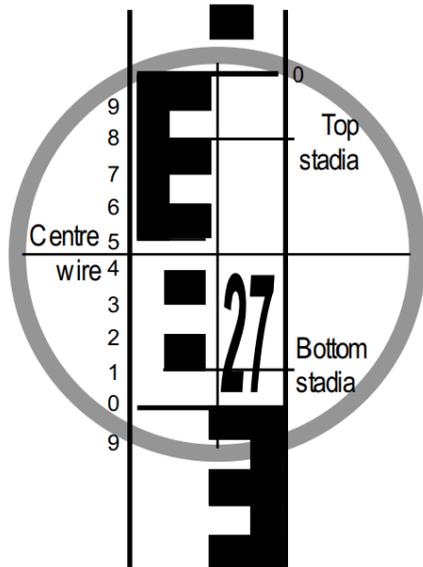
Intermediate sight (IS) adalah sight yang diambil antara BS dan FS.

Change point (CP) adalah posisi umum antara dua pengaturan instrumen. CP memiliki FS dari posisi instrumen sebelumnya dan BS dari posisi instrumen berikutnya.

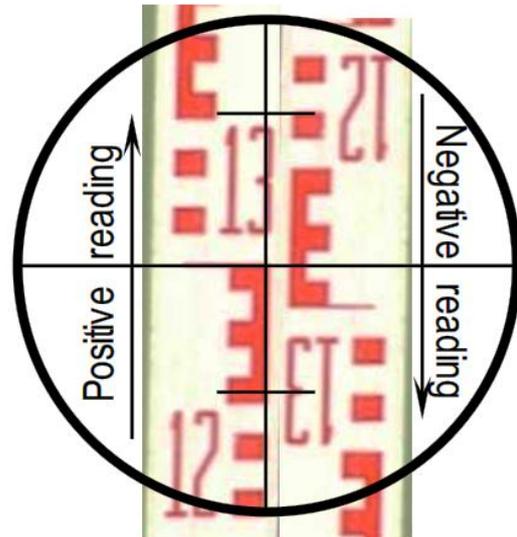
Membaca interval tongkat

Bagian depan tongkat ditandai dengan pola E dengan gradasi 1 cm (lihat Gambar 2.15). Pengamat diharapkan untuk menginterpolasi pembacaan milimeter. Karena kemampuan mata untuk membedakan proporsi, maka relatif mudah untuk menginterpolasi ke milimeter.

Tongkat penyeimbang harus diperpanjang hanya hingga jumlah yang dibutuhkan untuk latihan. Pastikan segmen bagian yang benar diperpanjang. Setiap segmen panjangnya sekitar 1 m.



Gambar 2.15 Pola pembacaan staf E.



Gambar 2.14 Pembacaan staf terbalik.

Fokus objek:

1. Fokus pada tongkat dengan kenop fokus OBJEK; kedalaman bidang dangkal dan memerlukan pemfokusan kritis
2. Periksa paralaks pada retikula.
3. Ketuk sisi level dengan lembut untuk memastikan kebebasan kompensator pendulum otomatis.

Pembacaan tongkat

1. Menggunakan garis bidik tengah, baca tongkat, perkirakan milimeter.
1. Tongkat yang diilustrasikan pada bacaan 2,745, titik desimal disimpulkan dalam 27
2. Catat bacaan dalam meter.
3. Perhatikan bahwa kawat dua stadia, yang digunakan untuk mengukur jarak, dapat digunakan sebagai pengecekan pembacaan kawat tengah,

$$\text{Kawat atas (TW)} = 2,780$$

$$\text{Rata - rata} = 2,745 = \text{kawat tengah}$$

$$\text{Kawat bawah (BW)} = 2,710$$

$$\text{Jarak} = (TW - BW) \times 100 (\text{konstanta stadia}) = 0,07 \times 100 = 7m$$

Merekam kawat atas dan bawah dapat menjadi metode yang berguna untuk mendeteksi kesalahan.

Pengamat dan pembuku harus bekerja sama untuk memastikan bahwa pembacaan telah dicatat dengan benar. Pembuku harus dapat mengurangi pembacaan, menghitung RL dari naik/turun atau tinggi metode kolimasi, dan memeriksa konsistensi. Lebih jauh, pembuku

harus memastikan deskripsi yang memadai dari titik yang diamati. Level akhir yang dikurangi (RL) dan semua pemeriksaan dapat diselesaikan dengan cepat, sebelum meninggalkan pekerjaan. Tidak ada yang lebih buruk daripada harus kembali bekerja untuk memperbaiki kesalahan.

Penanganan tongkat

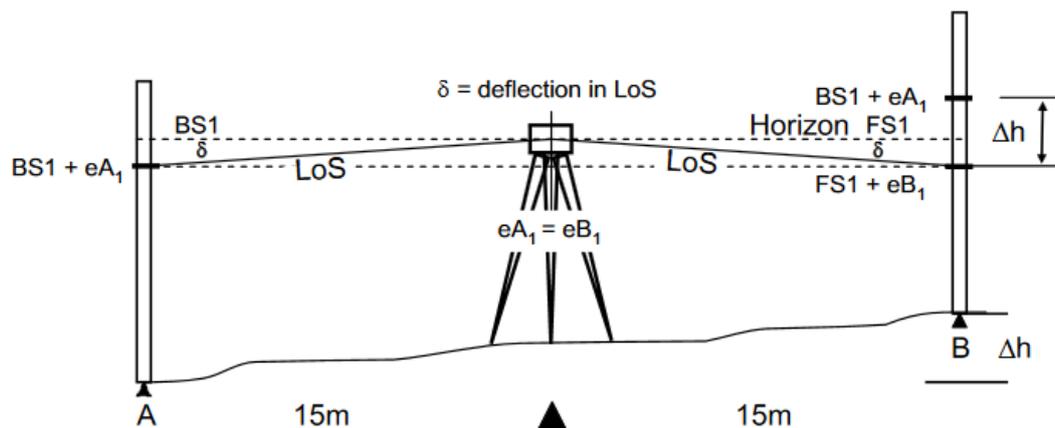
1. Pastikan bagian tongkat yang diperlukan telah sepenuhnya dipanjangkan dan dikunci.
2. Saat memindahkan ketinggian, pastikan bahwa alas tongkat berada pada titik yang stabil; pasak, titik yang dapat dipulihkan, atau pelat perubahan yang tertanam kuat (Gambar 2.8).
3. Pembacaan minimum pada tongkat terjadi saat dipegang vertikal. Ini dicapai dengan menggunakan "gelembung tongkat", level melingkar yang dipegang di sisi tongkat. Menggoyangkan tongkat sedikit ke belakang dan ke depan untuk menemukan pembacaan minimum adalah metode lain yang dapat digunakan tanpa adanya gelembung.

Pemeriksaan kolimasi (Uji dua pasak)

Untuk memeriksa apakah garis pandang instrumen horizontal, perlu dilakukan uji garis pandang. Ini umumnya disebut "uji dua pasak". Pengujian ini harus dilakukan pada instrumen apa pun yang akan digunakan dalam produksi sebelum proyek apa pun. Tujuan pengujian adalah untuk memastikan bahwa garis kolimasi level berada dalam rekomendasi pabrikan. Di luar batas ini, instrumen harus diuji ulang dan jika masih kurang, disesuaikan atau dikirim untuk diperbaiki.

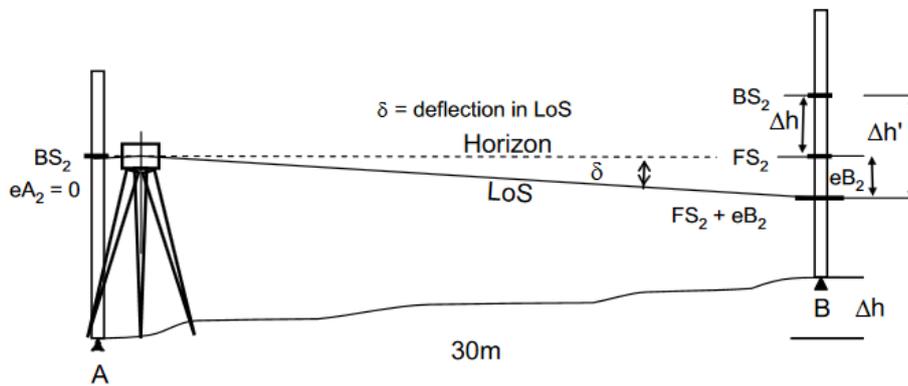
Prinsip pengujian adalah untuk menemukan perbedaan ketinggian antara dua titik:

1. Menghilangkan kesalahan kolimasi dengan mengamati, Δh , dari titik tengah (Gambar 2.16)
 - kesalahan garis pandang (LoS) dibatalkan (defleksi, δ , dibatalkan).



Gambar 2.16 Pengamatan selisih ketinggian secara seimbang (titik tengah).

2. Dari titik dekat A, 1 – 2m (Gambar 2.17), tentukan $\Delta h'$ dengan mengamati sepanjang garis pandang (30m). Kesalahan pada garis pandang adalah perbedaan antara dua perbedaan ketinggian yang diamati;
 - $|\text{kesalahan}| = |\Delta h'| - |\Delta h|$ (defleksi tidak seimbang, δ).



Gambar 2.17 Pengamatan offset perbedaan ketinggian. Kesalahan ketinggian.

3. Kesalahan maksimum yang disarankan untuk Leica Level NA720/724 adalah 3 mm (0,003 m) atau 0,01 kaki. Tongkat imperial, atau kaki, ditandai dalam 1/100 kaki.
4. Contoh lembar catatan menggunakan metode pencatatan naik dan turun:

BS	IS	FS	Rise	Fall	Remarks
1.742					<i>A₁. Mid point. Equal error</i>
		1.622	0.120		<i>B₁. Mid point. Equal error</i>
1.580					<i>A₂. At staff. Zero error</i>
		1.456	0.124		<i>B₂. 30m to B. All error</i>
$\Delta h = 0.120$		$\Delta h' + e_{B_2} = 0.124$		$ Error = 0.124 - 0.120 = 0.004$	

Gambar 2.18 Pemesanan dan analisis uji kolimasi.

5. Gambar 2.18 menunjukkan kesalahan sebesar 4 mm, di luar spesifikasi pabrik. Pengujian akan diulang untuk mengonfirmasi hasil sebelum keputusan apa pun tentang penyesuaian dibuat. Atau, kehati-hatian ekstra dapat digunakan untuk menyeimbangkan pengamatan pandangan ke depan/belakang.
6. Jika pengukuran ini mengonfirmasi bahwa reticle perlu disesuaikan, maka pembacaan ke B2 harus disesuaikan sehingga pembacaan staf adalah:
 - $1,580 - 0,120 = 1,460$.

2.5 TEKNIK PENGUKURAN DAN PENGURANGAN

Aturan Dasar Perataan

Dalam menggunakan level otomatis untuk kontrol vertikal dan perbedaan ketinggian, Anda perlu mengingat enam aturan perataan berikut:

1. Instrumen harus diratakan dengan benar, bebas bandul; periksa gelembung melingkar, "ketuk" bandul.
2. Jarak pandangan ke belakang harus kira-kira sama dengan jarak pandangan ke depan. Kabel stadia dapat digunakan untuk memperkirakan jarak (lihat pembacaan staf di atas).
3. Instrumen, tongkat, dan pelat pengganti harus stabil, dan tongkat tetap berada di pelat pengganti.

4. Tongkat harus vertikal. Pastikan gelembung tongkat berada di tengah.
5. Hilangkan paralaks, baca kabel tengah; fokus tajam dan berimpit antara retikula dan objek. Fokus retikula (kabel silang) diatur dengan cincin lensa okuler (diopiter); fokus objek untuk menghilangkan paralaks.
6. Tutup lintasan.

Semua perhitungan didasarkan pada trigonometri bidang, dan bidang horizontal tegak lurus terhadap normal geoid lokal. Pengukuran jarak umumnya kurang dari 100 m dan pengamatan level jarang dilakukan pada jarak 50 m, umumnya 30 m sudah cukup. Keterbatasan ini kemudian memungkinkan kita untuk mengabaikan efek kelengkungan Bumi dan faktor skala. Ketinggian akan dirujuk ke Datum Ketinggian Australia (AHD). AHD didefinisikan sebagai permukaan laut rata-rata pada 30 pengukur pasang surut di sekitar Australia, yang diamati antara tahun 1966 dan 1968 (Gambar 2.3).

Spesifikasi Levelling di Australia

Komite Antarpemerintah tentang Survei dan Pemetaan (ICSM) melalui Publikasi Khusus 1 (SP1), Versi 2.0 (2013) memberikan pedoman untuk Levelling Diferensial untuk mencapai berbagai tingkat misclose.

Misclose yang diizinkan: Saat melakukan levelling diferensial atau levelling diferensial Total Station, kesalahan menyebar secara proporsional dengan akar kuadrat jarak yang ditempuh. Penilaian misclose harus dilakukan untuk memverifikasi bahwa lintasan maju dan mundur dari lintasan levelling, termasuk setiap teluk, berada dalam misclose maksimum yang diizinkan. Misclose yang diizinkan dihitung menggunakan rumus:

$$F_{mm} = n\sqrt{k} \text{ (k dalam Km)}$$

Tiga standar yang menggunakan nilai empiris direkomendasikan:

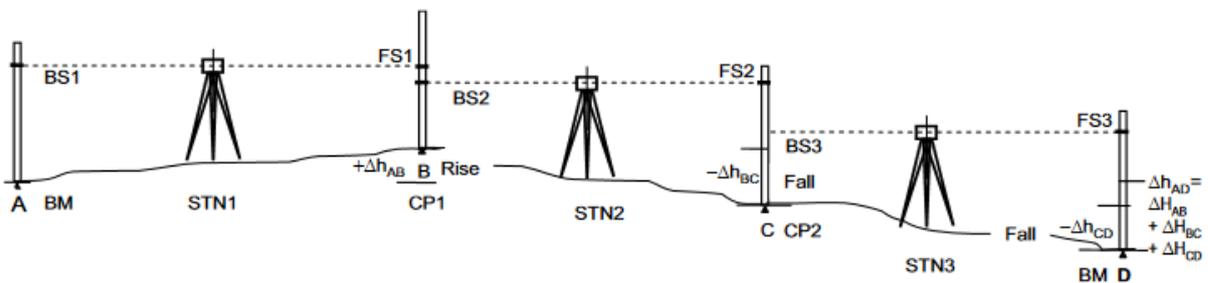
$$n = 2\text{mm}\sqrt{k}, n = 6\text{mm}\sqrt{k}, \text{ dan } n = 12\text{mm}\sqrt{k}$$

Peralatan: Untuk kesalahan penutupan maksimum yang direkomendasikan sebesar $12\sqrt{k}$ (maju dan mundur). Level optik 2 mm/km; pemeriksaan kolimasi di awal proyek; tongkat kayu atau fiberglass, dikalibrasi dalam waktu 5 tahun; gelembung tongkat terpasang dan akurat hingga vertikalitas $10'$, tripod teleskopik; pelat perubahan standar; termometer akurat hingga 1°C .

Teknik observasi: Perataan dua arah; pandangan ke depan kira-kira sama dengan pandangan ke belakang; pembacaan tongkat hingga 1 mm; suhu dicatat di awal dan pada interval 1 jam, atau pada perubahan kondisi yang nyata; panjang pandangan maksimum 80 m; jarak bebas ke tanah minimum 0,3 m. Salah satu level otomatis yang digunakan untuk latihan perataan adalah Leica NA720/NA724, level survei dan konstruksi serbaguna. Akurasi dikutip sebesar 2,5 mm/km untuk NA720, tidak memenuhi spesifikasi SP1.

Differential Levelling: Metode "Rise and Fall" Prosedur leveling:

- Garis pandang horizontal dibuat menggunakan beberapa bentuk mekanisme leveling:
 - Tabung waterpas
 - Bandul ayun
- Parabola terukur dibaca melalui teleskop level
- Ketinggian titik dapat ditentukan dengan terlebih dahulu membaca parabola pada Bench Mark (BM)
- Parabola kemudian digerakkan ke titik yang diinginkan, level diputar dan parabola dibaca lagi
- Hasil pembacaan pada benchmark (BM) disebut backsight (BS), lihat BS1 pada Gambar 2.19.
- Hasil pembacaan yang diambil setelah memutar instrumen dan menggerakkan parabola disebut foresight (FS), lihat FS1 pada Gambar 2.19.
- Untuk melanjutkan perataan, tongkat tetap berada di titik di B dan instrumen dipindahkan ke titik tengah antara B dan titik berikutnya, C, yaitu STN 2.
- B disebut titik perubahan (CP) atau titik balik (TP)
- Tongkat di B diputar dengan hati-hati ke arah instrumen dan pembacaan BS dilakukan
- Kemudian tongkat dipindahkan ke C dan pembacaan FS dilakukan
- Prosedur diulang sebanyak yang diperlukan
- Perataan harus selalu berakhir pada BM (yaitu D) sebagai pemeriksaan!



Gambar 2.19 Prosedur perataan.
Dimulai dari BM(A) dan berakhir di BM(D) yang lain.

Prosedur pemesanan dan pengurangan lapangan untuk perataan

Ada dua metode pengurangan not untuk menghitung elevasi dari pengamatan BS dan FS. Masing-masing metode hanya menggunakan dua persamaan untuk perhitungan. Metode-metode ini adalah

- Metode Naik dan Turun (yaitu, turun hanyalah Naik negatif);

$$\begin{aligned} \text{Naik(atau Turun)} &= BS - FS \\ \text{Elevasi} &= \text{Elevasi sebelumnya} + \text{Naik(atau Turun)} \end{aligned}$$

- Metode Tinggi Kolimasi;

$$HI = \text{Elevasi} + BS$$

$$Elevasi = HI - BS$$

Berikut ini, pemeriksaan terperinci terhadap metode-metode tersebut disajikan.

Prosedur Pemesanan dan Pengurangan Naik dan Turun

Metode pemesanan “naik dan turun” memungkinkan tiga set pemeriksaan untuk diterapkan pada nilai-nilai yang dipesan. Metode ini hanya memeriksa perhitungan, bukan nilai-nilai pengamatan yang dipesan. Pindahkan level titik kontrol (tanda acuan) di A ke titik-titik kontrol baru di B dan C, diperiksa dengan menutup ke titik kontrol di D. Mengacu pada Tabel 2-1, pencatatan dan pemeriksaan buku lapangan dengan pengamatan “naik dan turun” adalah:

Titik kontrol A memiliki RL yang diketahui sebesar 10,125 Titik kontrol D memiliki RL yang diketahui sebesar 8,930 perbedaan $\Delta h_{AC} = 8,930 - 10,125 = -1,195$

Tabel 2.1 Naik dan turun, memeriksa perhitungan.

BS	IS	FS	Naik	Turun	RL	Remark
1.742					10.125	A. Titik Kontrol
1.580		1.522	0.220		10.345	B. Ubah titik 1
0.625		1.892		0.312	10.033	C. Ubah titik 2
		1.732		1.107	8.926	D. Mengamati RL
Jumlah		Jumlah	Jumlah	Jumlah		
3.947		5.146	0.220	1.419		
$\Sigma BS - \Sigma FS$		$\Sigma Naik - \Sigma Turun$		RL Terakhir – RL Pertama		
	- 1.199		Diff =	- 1.199	- 1.199	$\delta h'_{AD}$ Akhir dan Awal
Tiga pemeriksaan cocok. Pemeriksaan matematika cocok dengan pengamatan yang dicatat						

Namun, Tabel 2-2 menunjukkan adanya perbedaan (misclose) antara pengamatan dan reduksi yang dicatat dan RL A dan D yang diketahui sebesar 0,004. Hal ini mungkin perlu diselidiki, atau diterima (dengan justifikasi terkait spesifikasi pekerjaan).

Tabel 2.2 Penetapan misclose.

				10.125	A. BM (fixed)
				8.930	D. BM (fixed)
				-1.195	δh_{AD} Pertama- terakhir
			Misclose	+0.004	$\delta h_{AD} - \delta h'_{AD}$

Pemesanan tiga kabel: menggunakan kabel stadia Panduan Leica, halaman 16. “Perataan garis”.

Pada setiap pembacaan level, tiga kabel, kabel tengah horizontal dan dua kabel stadia, dapat dipesan untuk menyediakan, a) pemeriksaan terhadap pembacaan kesalahan dan b) perhitungan jarak ke staf. (Konstanta stadia 100).

Tabel 2.3 Tiga pembacaan kawat.

BS	IS	FS	Naik	Turun	RL	Catatan
1.542						Kabel Atas
1.742					10.125	A. Poin Kontrol
1.943						Kabel Bawah
1.653		1.627				Kabel atas
1.590		1.522	0.220		10.345	B. Change Point 1
1.407		1.417				Kabel Bawah

Tabel 2-3, menunjukkan:

BS ke A. Kabel tengah (MW) sesuai dengan kabel atas (TW) dan kabel bawah (BW). Jarak = $(1,943 - 1,542) \times 100 = 40,1$ m

FS ke CP1. MW sesuai. $(TW+BW)/2 = MW$. Jarak = $(1,627 - 1,417) \times 100 = 21$ m Setelah **mengubah** stasiun pengamatan, terbaca: BS ke CP1. MW tidak sesuai dengan $(TW+BW)/2 = 1,580$. Apakah ini kesalahan pemesanan?

- **Periksa.** Jarak 24,6 m. Pemeriksaan lebih lanjut: $(TW - MW) \times 200 = 12,6$ m, $(MW - BW) \times 200 = 36,6$.

- **Solusi.** Amati kembali BS untuk **memeriksa** sebelum pembacaan FS berikutnya.

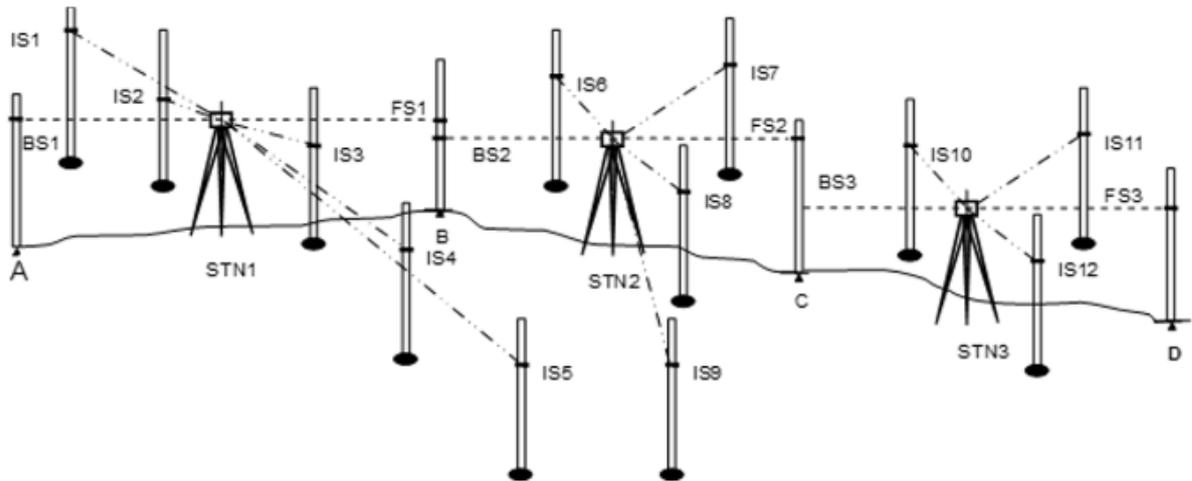
Jangan ambil nilai "rata-rata" antara TW dan BW untuk mendapatkan pembacaan MW yang "disempurnakan".

Gunakan sebagai **pemeriksaan**.

Bisakah Anda "menganggap" salah membaca kabel tengah, mengoreksi pembacaan menjadi 1,580, lalu menggunakannya sebagai pembacaan BS yang "benar" untuk stasiun depan berikutnya?

Perataan Area: Metode "Naik dan Turun"

Metode pencatatan "naik dan turun" akan digunakan sebagai ganti metode "ketinggian kolimasi" yang diilustrasikan di Bagian selanjutnya. Sekali lagi, kami hanya memeriksa perhitungan, bukan nilai pengamatan yang dicatat, biasanya akan ada campuran pengamatan pencatatan "garis" dan "area". Semua pengamatan, selain dari back sight (BS) dan fore sight (FS) dianggap sebagai intermediate sight (IS) dan dicatat di kolom IS pada lembar pencatatan "naik dan turun". Latihan 1 adalah pemindahan level yang dikurangi (RL) ke titik kontrol sementara (temporary benchmark, TBM) dari BM yang ada. Anda mungkin harus menggunakan intermediate sight (IS) untuk menetapkan TBM ini, dan harus menggunakannya untuk menjawab beberapa pertanyaan latihan.



Gambar 2.20 Perataan area.

Latihan 2, latihan pemetaan dan perataan area, terutama akan menggunakan IS untuk menentukan tingkat penampang melintang, tetapi juga akan memerlukan sejumlah titik perubahan (CP) untuk melakukan pengamatan di area tersebut.

Tabel 2-4 adalah contoh pemesanan bidikan antara (IS) antara bidikan belakang dan bidikan depan, dan memeriksa reduksi untuk pengamatan yang dilakukan di area tersebut, Gambar 2.20.

Tabel 2.4 Metode naik dan turun. Periksa perhitungan.

BS	IS	FS	Rise	Fall	RL	Remarks
1.742					10.125	A. Control point.
	1.628		0.114		10.293	IS1
	1.205		0.423		10.662	IS2
	1.585			0.380	10.282	IS3
	1.625			0.040	10.242	IS4
	1.55		0.075		10.317	IS5
1,580		1.522	0.028		10.345	B. Change point 1
	1.635			0.055	10.290	IS6
	1.64			0.005	10.285	IS7
	1.825			0.185	10.100	IS8
	1,745				10.180	IS9
0.625		1.892		0.147	10.033	C. Change point 2.
	1.254			0.629	9.404	IS10
	1.365			0.111	9.293	IS11
	1.158		0.207		9.500	IS12
		1.732		0.574	8.926	D. Observed R.L.
Sum		Sum	Sum	Sum	8.93	D. BM RL 8.930
3.947		5.146	0.927	2.126		closed to 0.004m
$\Sigma BS - \Sigma FS$			$\Sigma Rise - \Sigma Fall$			RL Terakhir - RL Awal
	- 1.199		Beda =	- 1.199	- 1.199	$\delta h'_{AD}$ Pertama- terakhir
Tiga pemeriksaan cocok. Perhitungannya cocok dengan pengamatan yang dicatat						

Perhatikan bahwa meskipun pemeriksaan saling cocok, tidak ada masalah matematika, masih ada perbedaan antara RL BM D yang dihitung dan nilai sebenarnya. Ini kemungkinan merupakan kesalahan acak misclose.

Jumlah pemeriksaan hanya memvalidasi matematika dari nilai teramati yang dikurangi. Ini tidak berarti bahwa nilai teramati individual itu benar. Kesalahan pembacaan itu sendiri tidak dapat diisolasi di antara titik pemeriksaan.

Perataan Area: Metode “Ketinggian Kolimasi”

Metode ini, lihat Tabel 2-5, menggunakan area pada Gambar 2.20, mudah digunakan baik untuk pengambilan level maupun untuk pengaturan level. Penglihatan belakang staf (BS) ke level yang diketahui (titik atau BM) diambil dan ditambahkan ke RL yang diketahui. Ini menjadi “ketinggian kolimasi” level. Ini adalah RL bidang horizontal yang diamati, cakrawala instrumen, yaitu,

$$HC = \text{KnownRL} + BS$$

$$RL \text{ of any point} = HC - IS \text{ or FS}$$

RL dari titik mana pun = HC – IS/FS, pembacaan tongkat. Metode ini memungkinkan titik perubahan (CP) diperkenalkan sebagai tolok ukur sementara (TBM). Pengaturan instrumen berikutnya memiliki HC baru berdasarkan RL CP dan FS baru.

Metode ini digunakan untuk pengaturan kontrol vertikal dan merupakan dasar pengaturan menggunakan level laser berputar dan detektor. Setelah HC ditetapkan dari RL yang diketahui, yang perlu dilakukan hanyalah menaikkan atau menurunkan tongkat hingga level yang diperlukan bertepatan dengan dasar tongkat. Level yang ditetapkan ditandai dengan pasak yang ditancapkan ke level, atau garis pada tiang pancang.

Dari CP2 (Tabel 2-6), Anda ingin menetapkan level desain RL10,5 di atas suatu area. Instrumen telah dipindahkan dan RL BM B digunakan sebagai kontrol. Level tambahan, untuk RL desain lainnya, juga diilustrasikan. Simpan HC di kalkulator Anda dan gunakan nilai tersebut, dikurangi level yang diperlukan, untuk menemukan pembacaan tongkat.

Tabel 2-5 Tinggi pemesanan dan pengurangan kolimasi.

BS	IS	FS	HC	RL	Remarks
1.742			11.867	10.125	RL A. BM . HC for STN1.
	1.628			10.293	IS1
	1.205			10.662	IS2
	1.585			10.282	IS3
	1.625			10.242	IS4
	1.550			10.317	IS5
1.580		1.522	11.925	10.345	B. CP 1. HC. For STN2. RLB + FS
	1.635			10.290	IS
	1.640			10.285	IS7
	1.825			10.100	IS8
	1.745			10.180	IS9

0.625		1.892	10.658	10.033	C. CP 2. HC. For STN3. RLC + FS
	1.254			9.404	IS10
	1.365			9.923	IS11
	1.158			9.950	IS12
		1.732		8.926	D. BM. D RL 8.930
Sum		Sum			closed to 0.004m
3.947		5.146			
$\Sigma BS - \Sigma FS = -1.199$				-1.199	$\delta h'_{AD}$ Pertama- terakhir

Tabel 2-6 Hitung IS untuk menetapkan tingkat desain.

BS	IS	FS	HC	RL	Remarks
1.370				10.345	RL B.
			11.715		HC. For CP2. RLB + FS
	1.215			10.500	Finish level required.
Set IS	1.215				11.715 - 10.5 = 1.215
	1,315			10.400	Calculated IS. Design RL
	1,415			10.300	Design RL
	1.515			10.200	Design RL
	1.615			10.100	Design RL

Tidak ada cara mudah untuk memeriksa RL level menengah dibandingkan dengan metode "naik dan turun".

Jika misclose traverse berada dalam batas yang diizinkan, maka ada argumen untuk distribusi koreksi melalui titik-titik. Koreksi dilakukan secara proporsional dengan jumlah rongga; di atas kita memiliki $-0,004$ lebih dari 3 rongga (A – B, B – C, C – D). Koreksinya adalah $+0,004/3$ per rongga kumulatif seperti, katakanlah, $+0,001$ A ke B, $+0,002$ B ke C, $+0,004$ C ke D.

Uren dan Price (2010), memberikan perincian. Namun, sulit untuk membedakan antara kesalahan acak dan kesalahan sistematis (kolimasi yang disebabkan oleh BS/FS yang tidak sama). Dengan demikian, distribusi misclose tidak digunakan dalam kursus ini. Kesalahan penutupan harus selalu dinilai berdasarkan toleransi dan tujuan tugas, serta keputusan teknik yang dibuat.

2.6 CONTOH PERATAAN UNTUK KONTROL KETINGGIAN

Penetapan dan pemindahan level menggunakan perataan diferensial digunakan untuk menemukan level titik kontrol yang baru dan yang sudah ada. Metode ini memindahkan ketinggian ortometrik ke seluruh jaringan level. Perataan kontrol harus selalu menutup kembali ke titik yang diketahui atau, setidaknya, ke titik antara yang sudah ada sebelumnya di jaringan. Siswa menggunakan metode diferensial ini di Praktik Lapangan 1 untuk mengatur kontrol level untuk latihan perataan area mereka di Praktik Lapangan 2.

Teknik Sipil untuk Latihan Penggalian Jalan

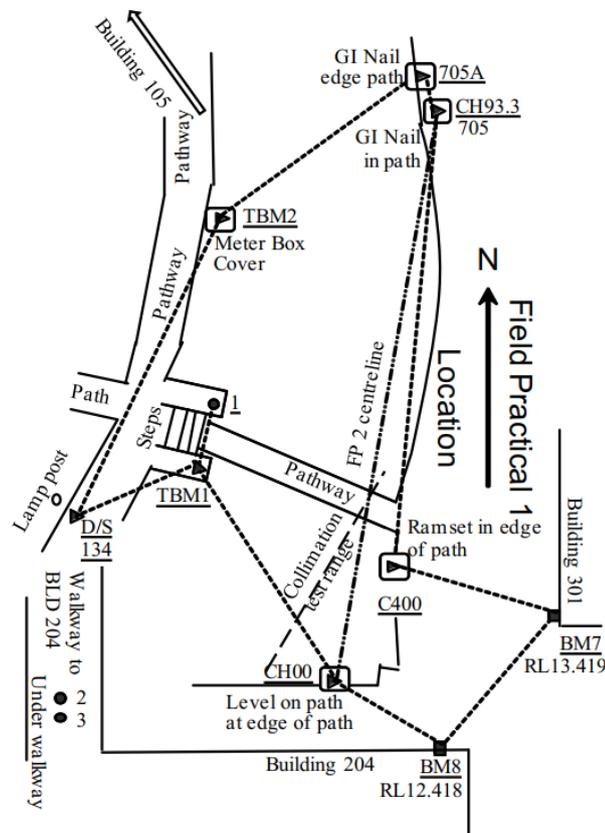
Area latihan (Gambar 2.21) berukuran sekitar 100m x 50m di lokasi miring, menurun ke tenggara dengan perbedaan ketinggian sekitar 3,5m. Area tersebut memiliki pepohonan pinus, jalan setapak, dan kotak layanan. Fitur-fitur ini cocok untuk berbagai bentuk pemetaan yang dieksplorasi selama kuliah.

- a. Latihan 1 melibatkan uji kolimasi level, kemudian penetapan kontrol vertikal yang akan digunakan dalam latihan 2. Ini merupakan kesempatan bagi siswa untuk menjadi terbiasa dengan pengaturan instrumen, pemfokusan, dan pembacaan serta perekaman staf.

Latihan kolimasi level memberikan contoh praktis pengamatan pandangan belakang/depan yang seimbang yang dilakukan oleh setiap siswa secara mandiri (memindahkan dan menyetel ulang level). Pemesanan dan pengurangan lapangan, serta evaluasi hasil, dipraktikkan. Latihan ini mencakup pengenalan pengintaian lokasi, lokasi titik kontrol, dan penetapan tujuan tugas.

- b. Latihan 1 kemudian memeriksa dua jenis jalur level untuk penetapan kontrol: lintasan terbuka dari patokan yang ditetapkan, melalui pengamatan inversi untuk memeriksa jarak portal.

Ini memperkenalkan titik perubahan untuk metode pemesanan naik dan turun.



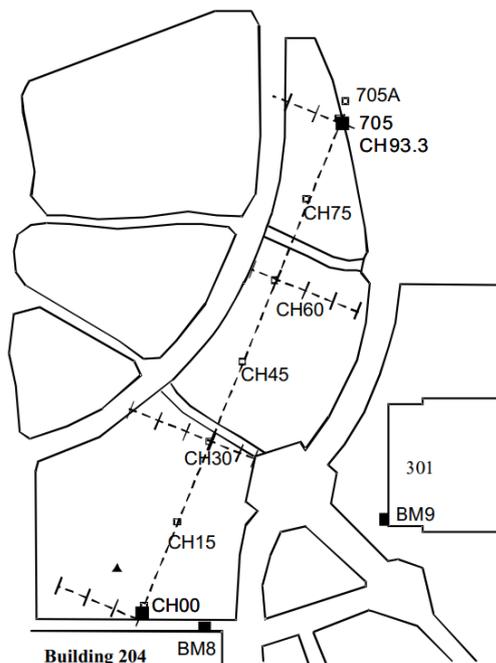
Gambar 2.21 Praktikum lapangan sipil 1.

lintasan lintasan tertutup, berakhir pada titik acuan yang berbeda, melintasi beberapa titik lintasan terbuka. Latihan ini memerlukan sejumlah titik perubahan untuk digunakan, yang memberi anggota tim kesempatan untuk melaksanakan tugas observasi, pemesanan, dan penanganan staf. Waktu latihan memungkinkan pengecekan hasil di lapangan sebelum tugas selesai.

- c. Latihan 2 (Gambar 2.22) menggabungkan pengaturan lapangan dari grid offset tegak lurus di sepanjang garis tengah yang ditetapkan. Tugas berlanjut dari kontrol yang ditetapkan dalam latihan 1 dan memperkenalkan observasi, pemesanan, dan pengurangan perataan area. Beberapa titik perubahan memungkinkan rotasi tugas observasi.

metode chainage dan offset pemetaan lapangan digunakan untuk menemukan pohon, layanan, dan batas fitur. Dari data lapangan ini, rencana skala area latihan dibuat yang menunjukkan fitur dan batas galian desain di sepanjang garis tengah.

data lapangan digunakan untuk menghitung volume pemotongan lereng yang ditentukan dan intersepsi adonan.



Gambar 2.22 Praktikum lapangan sipil 2.

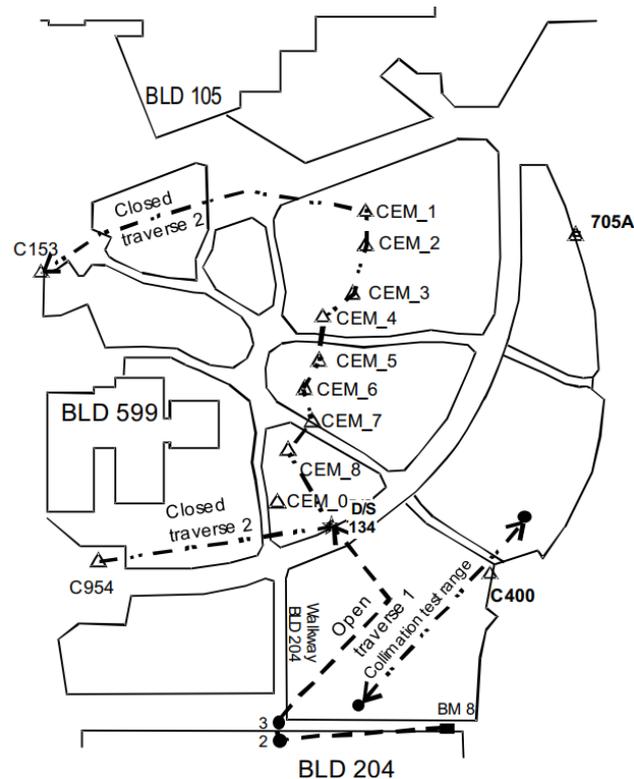
Survei Teknik Pertambangan untuk Pengembangan Lokasi

Area latihan berukuran sekitar 120 m x 90 m di lokasi miring, menurun ke tenggara dengan perbedaan ketinggian sekitar 6 m. Area tersebut memiliki pohon pinus, jalan setapak, dan kotak layanan. Fitur-fitur ini cocok untuk berbagai bentuk pemetaan yang dieksplorasi selama kursus.

- a. Latihan 1 (Gambar 2.23) melibatkan uji kolimasi level, kemudian penetapan kontrol vertikal yang akan digunakan dalam latihan 2. Ini merupakan kesempatan bagi siswa untuk membiasakan diri dengan pengaturan instrumen, pemfokusan, serta

pembacaan dan perekaman staf. Latihan kolimasi level memberikan contoh praktis pengamatan pandangan belakang/depan yang seimbang yang dilakukan oleh setiap siswa secara mandiri (memindahkan dan menyetel ulang level). Pembatas dan pengurangan lapangan, serta evaluasi hasil, dipraktikkan.

Latihan ini mencakup pengenalan pengintaian lokasi, lokasi titik kontrol, dan penetapan tujuan tugas.



Gambar 2.23 Praktikum lapangan pertambahan 1.

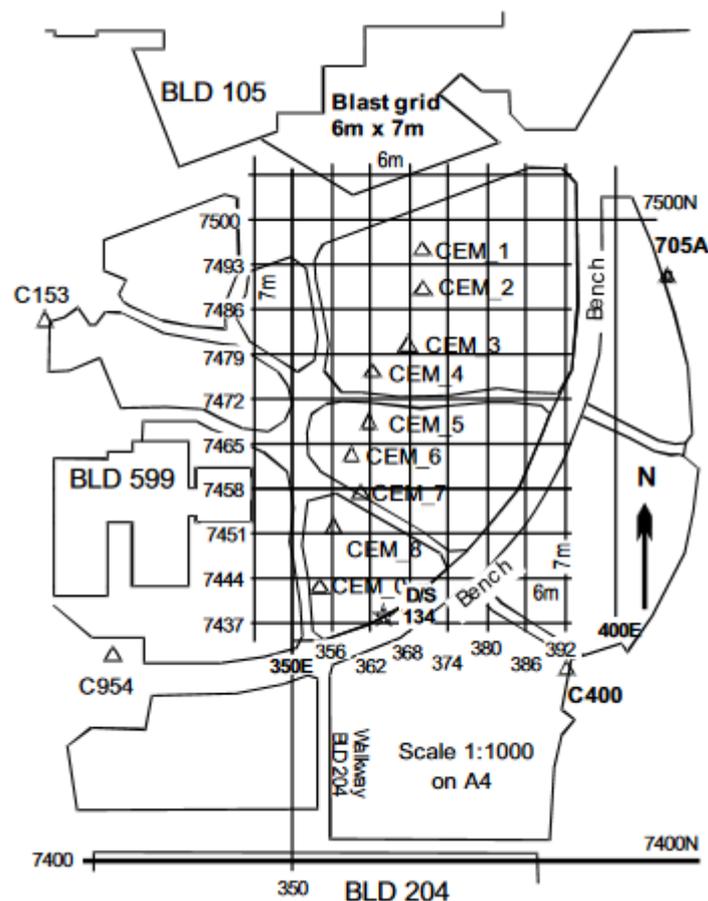
- b. Latihan 1 kemudian memeriksa lintasan datar dari dua jenis untuk penetapan kontrol:
 - lintasan terbuka dari tolok ukur yang ditetapkan, melalui pengamatan inversi untuk memeriksa jarak bebas portal. Latihan ini memperkenalkan titik perubahan untuk metode pemesanan naik dan turun.
 - lintasan loop tertutup, berakhir di tolok ukur yang berbeda, melintasi beberapa tanda loop terbuka. Latihan ini memerlukan sejumlah titik perubahan untuk digunakan, yang memberi anggota tim kesempatan untuk melakukan tugas observasi, pemesanan, dan penanganan staf. Waktu latihan memungkinkan pengecekan lapangan terhadap hasil sebelum tugas selesai.
- c. Latihan 2 (Gambar 2.24) menggabungkan pengaturan lapangan dari kisi persegi panjang di sepanjang area yang ditentukan. Tugas berlanjut dari kontrol yang ditetapkan dalam latihan 1 dan memperkenalkan observasi perataan area, pemesanan, dan pengurangan. Beberapa titik perubahan memungkinkan rotasi tugas observasi.

- tata letak kisi dari kisi peledakan yang umum. Perataan area, menggunakan metode Ketinggian Kolimasi menggambarkan praktik lapangan.
- metode grid (memperkirakan posisi dalam sel grid) pemetaan lapangan digunakan untuk menemukan pohon, layanan, dan batas fitur. Dari data lapangan ini, rencana skala area latihan dibuat yang menunjukkan fitur dan batas area penggalian desain.
- data lapangan digunakan untuk menghitung volume penggalian hingga ke tingkat desain.

Tata Letak Grid untuk perataan

Area survei harus di-grid dalam pola persegi panjang yang sejajar Utara-Selatan dan Timur-Barat, atau seperti yang ditentukan oleh sumbu utama. Ini akan memungkinkan integrasi yang mudah ke sistem koordinat lokal untuk sistem GIS/CAD. Rencana area kerja memungkinkan penentuan area grid, dan penyesuaian. Titik kontrol dasar harus dirujuk ke kontrol yang diketahui untuk memungkinkan penggabungan koordinat grid ke dalam sistem grid survei lokal. Sumbu penyesuaian dapat ditunjukkan oleh patok survei, tiang pengukur jarak, atau jalur. Tiang pengukur jarak dan pita kain akan digunakan untuk menempatkan anak panah berantai di persimpangan grid.

Metode perekaman kolimasi ketinggian akan memungkinkan pengurangan level DEM dengan cepat.



Gambar 2.24 Praktikum lapangan pertambangan 2.

Metode Tata Letak Kisi Ortogonal

Persyaratan untuk kisi adalah kisi harus ortogonal, yaitu garis kisi harus tegak lurus satu sama lain. Bagaimana ini dicapai?

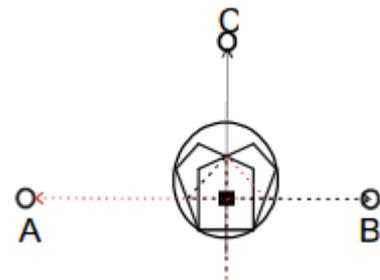
Segitiga 3 – 4 – 5: Teknik tradisional adalah menggunakan dimensi segitiga siku-siku bidang sebagai kontrol. Metode ini telah digunakan sejak jaman dahulu dan berlanjut hingga saat ini dalam industri bangunan. Segitiga tradisional terbaik adalah segitiga “3 – 4 – 5”. 3 dan 4 adalah sumbu tegak lurus dan 5 adalah panjang hipotenusa.

Tetapkan titik asal kisi dan tata letak perpanjangan sumbu utama, tandai dengan patok atau tiang pengukur. Letakkan pita di tanah dari titik asal. Tempatkan pin survei pada, katakanlah, 6,0 m. Dari titik asal, letakkan pita kedua pada sudut siku-siku terhadap sumbu utama. Ukur ke bawah sejauh 8,0 m. Periksa diagonal dari pin 6m dan sesuaikan penyelarasan 8m hingga jarak diagonal terbaca 10,0m. Perpanjang penyelarasan dengan tiang pengukur dan Anda akan mendapatkan sumbu grid utama. Alat ini bekerja dengan pita pengukur 30m.

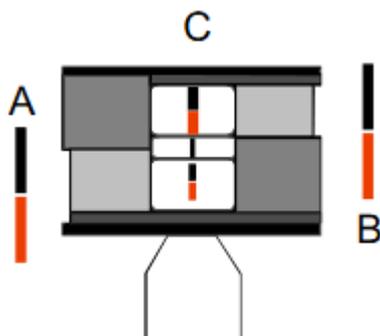
Kotak optik: Alat ini adalah instrumen genggam kecil (Gambar 2.25, Gambar 2.26) yang digunakan untuk membuat sudut siku-siku dengan menggunakan dua pentaprisma yang dipisahkan secara vertikal oleh celah kecil. Pentaprisma membelokkan garis pandang melalui permukaan prisma sebesar 90° ke kiri dan kanan.



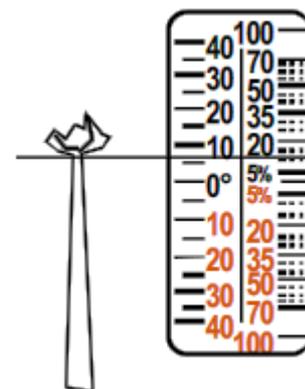
Gambar 2.25 Persegi optik.



Gambar 2.26 Lintasan optik melalui persegi.



Gambar 2.27 Penyelarasan terhadap tegak lurus.



Gambar 2.28 Ketinggian pohon.

Jika dua tiang pengukur berimpit di prisma, maka titik yang juga berimpit melalui celah tersebut tegak lurus dengan garis tiang pengukur (Gambar 2.27). Menggantungkan plum bob dari prisma memungkinkan perpotongan yang wajar.

Orientasi grid: Orientasi grid dapat dihitung dengan mengukur dari titik-titik yang diketahui ke koordinat bilangan bulat yang sesuai, atau dengan memeriksa denah lokasi. Denah sering kali akan diplot di atas fitur-fitur yang sudah ada yang dapat digunakan sebagai garis dasar.

Ketinggian dari Kemiringan Vertikal

Bagian dari tugas praktis melibatkan pencarian ketinggian pohon menggunakan pita pengukur dan klinometer. Klinometer dalam wadah tertutup terdiri dari roda yang dikalibrasi dan digantung pada bantalan safir ganda dalam kapsul berisi cairan. Muka roda diberi skala 0° hingga $\pm 90^\circ$ dan dibaca terhadap indeks pada kapsul. Pinggiran roda, dilihat melalui lensa pembesar, menunjukkan elevasi dan depresi dari cakrawala. Skala ini diberi skala dalam derajat (LHS) dan persentase jarak horizontal (RHS) ke target. Kinerja tipikal dikutip sebagai: akurasi $\frac{1}{4}^\circ$, skala 0,5°.

Ilustrasi menunjukkan pandangan simultan menggunakan kedua mata, membaca ke puncak batang pohon. Roda klinometer dilihat dengan satu mata, dan target dengan mata lainnya. (Sulit sampai Anda terbiasa.) Pembacaan elevasi adalah 7° (sekitar 12%).

Ketinggian pohon, di atas mata pengamat, adalah jarak horizontal ke target $\times \tan$ (sudut).

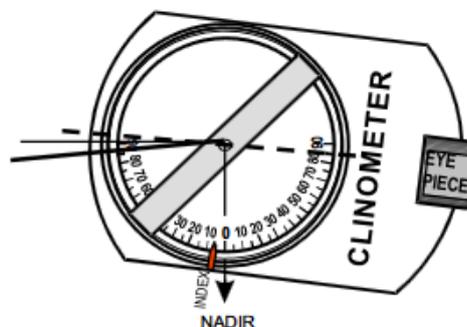
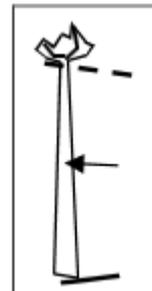
Asumsikan jarak $H = 50\text{m}$:

$$H_t = 50 \tan(7^\circ) = 6,1\text{m} \quad (50 \times 12\% = 6)$$

Ambil pembacaan kedua ke pangkal pohon, katakanlah -4° . $H_t = -3,5$.

Tinggi pohon = $6,1 - -3,5 = 9,6\text{m}$.

Selalu ukur dari jarak terjauh yang memungkinkan. Sudut kemiringan lebih rendah; kesalahan penunjuk yang terkait dengan definisi target diminimalkan. Baca ke pangkal dan atas, dengan demikian Anda tidak bergantung pada tinggi mata, terutama di tanah miring.



Gambar 2.29 Pengukuran klinometer.

2.7 KESALAHAN DALAM STRATEGI MANAJEMEN DAN PERATAAN

Pembahasan analitis terbaik tentang kesalahan dalam perataan terdapat dalam Ghilani. Seperti halnya serangkaian pengamatan pengukuran, perataan diferensial rentan

terhadap tiga jenis kesalahan (i) kesalahan sistematis, (ii) kesalahan acak, dan (iii) kesalahan atau kekeliruan dan kesalahan dalam pemindahan total datum.

Kesalahan Sistematis dalam Pengamatan Level

1. Kesalahan kolimasi, diminimalkan oleh salah satu aturan perataan: Jarak bidik belakang dan jarak bidik depan kira-kira sama:
 - pengamatan yang tidak seimbang akan menimbulkan kesalahan sistematis positif atau negatif tergantung pada:
 - a) kesalahan kolimasi,
Misalnya, batas maksimum pabrikan Leica adalah 0,003 (3 mm) dalam 30 m = 0,0001 radian = busur 21".
 - b) perbedaan antara panjang total jarak bidik belakang dan total jarak bidik depan, kesalahan = jarak x kesalahan kolimasi (radian).
 - kesalahan maksimum; 0,001 m pada 10 m, 0,005 m pada 50 m.

Dalam latihan perataan garis yang diperpanjang, perbedaan jumlah jarak yang ditempuh sebagai jarak bidik belakang dan jarak bidik depan dapat menyebabkan kesalahan sistematis yang signifikan.

2. Kelengkungan dan refraksi bumi, h_{CR} , diminimalkan oleh salah satu aturan perataan: Jarak bidik belakang dan jarak bidik depan kira-kira sama dengan:
 - kesalahan pembacaan tongkat, dalam meter, menggabungkan kelengkungan dan refraksi, adalah:
 -

$$h_{CR} = CR \left(\frac{D}{1000} \right)^2, \text{Dimana } CR = 0.0675 \text{ untuk } D \text{ dalam Meter}$$

Seperangkat observasi yang tidak seimbang akan menimbulkan kesalahan sistematis positif, e_{CR} , yang harus dikurangi dari perbedaan ketinggian.

$$e_{CR} = \frac{CR}{1000^2} \left(\sum D_{BS}^2 - \sum D_{FS}^2 \right)$$

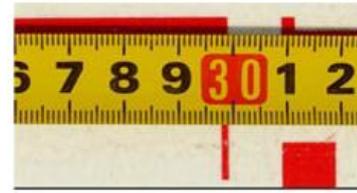
CR dikutip sebagai 0,0675 oleh Ghilani (2010). Nilai ini mendekati nilai empiris $k=1/14$ (0,07) yang dikembangkan oleh penyelidikan Bomford tentang kelengkungan dan pembiasan gelombang radio dan cahaya dalam EDM .

Efeknya minimal Ambil contoh perpindahan level pada lokasi miring, di mana BS/FS dapat bervariasi dalam rasio 5:1. Kemiringan 1:6 ($9,5^\circ$), dengan tongkat sepanjang 5 m, memiliki BS = 8 m dan FS = 21 m. Lebih dari lintasan 150 m, katakanlah 5 x 30 m.

- $\Sigma BS = 105$, $\Sigma FS = 40$. $dS^2 = (105^2 - 40^2) = 9.425$; $e_{CR} = 0,0675/10^6 \times 9425m$
- $e_{CR} = 0,00064m$, di bawah 1mm.

3. Kalibrasi tongkat dan kesalahan konstruksi mekanis:
Secara umum diasumsikan bahwa penandaan tongkat telah dibuat secara akurat. Penandaan tersebut dapat diperiksa dengan pita pengukur bersertifikat atau oleh otoritas pengujian bersertifikat.

Tongkat teleskopik tersegmentasi dapat mengalami mekanisme penguncian yang aus, terutama pada bagian dasar dan segmen pertama yang merupakan bagian yang paling sering diperpanjang. Gunakan pita yang melintasi sambungan segmen untuk menemukan keausan, pastikan tongkat dalam posisi vertikal untuk memuat kunci. (Gambar 2.30).



Gambar 2.30 Tongkat yang sudah usang.

4. Jika menggunakan dua tongkat, pastikan tongkat memiliki panjang segmen dasar yang sama, kaki tongkat yang aus dapat menyebabkan kesalahan sistematis antara paranada, kesalahan datum tongkat. Lengkapi setiap pasangan rongga datar dengan melompati paranada. Pastikan jumlah rongga genap.
5. Ekspansi suhu: tongkat harus dibuat pada suhu standar, sekitar 25°C,
 - tongkat fiberglass memiliki koefisien suhu sekitar 10 ppm/°C
 - tongkat aluminium memiliki koefisien suhu sekitar 25 ppm/°C

Pada suhu 35°C, $\delta T = 10$, pada perbedaan ketinggian 50 m akan terjadi kesalahan sebesar:

- 0,013 m menggunakan tongkat aluminium ($(50(dH) \times 25/106) \times 10 (\delta T) = 0,0125$) dan
 - 0,005 m menggunakan tongkat fiberglass.
- 2.7.2 Kesalahan Acak dalam Pengamatan Level

Kesalahan pembacaan pengamat:

1. kesalahan pembacaan tunggal:
 $\pm 1,2 \text{ mm}/30 \text{ m} = 0,00004 \text{ radian} = 8'' \text{ busur}$
2. Kesalahan level instrumen: biasanya dinyatakan sebagai:
 - simpangan baku dalam mm per km dari perataan lintasan ganda:
 - $\pm 2 \text{ mm}/\text{km} = 2,0-6 \text{ radian} = 0,4'' \text{ busur}$
 nilai ini sesuai dengan akurasi pengendapan kompensator yang dinyatakan
3. Vertikalitas tongkat, kesalahan gelembung tongkat, δ mungkin orde 5' busur,

$$e_{LS} = \frac{h}{2} \sin^2 \delta, \text{ pada } h = 5 \text{ m} \quad e_{LS} = 0.005 \text{ mm}$$

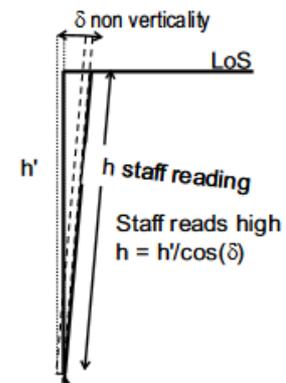
- (1/200mm).

ketika $\delta = 1,5^\circ$, pada $h = 5 \text{ m}$ maka $e_{LS} \approx \pm 0,002 \text{ m}$

- (2mm).

Analisis (Gambar 2.31) menunjukkan bahwa gelembung staf harus digunakan untuk semua pengamatan. Namun pada tingkat pengamatan normal, di mana $h = 2\text{m}$, non-vertikalitas $2,5^\circ$ diperlukan untuk menghasilkan kesalahan 2mm.

4. Kurangnya gelembung tongkat dapat diatasi dengan menggoyangkan tongkat vertikal perlahan ke belakang dan ke depan, dan membaca nilai tinggi minimum pada kawat tengah. (Juga, periksa vertikalitas terhadap garis bidik vertikal).



Gambar 2.31 Vertikalitas

Kesalahan dan Kekeliruan Pengamatan

Sumber kesalahan yang mungkin terjadi dalam pengamatan akan berasal dari:

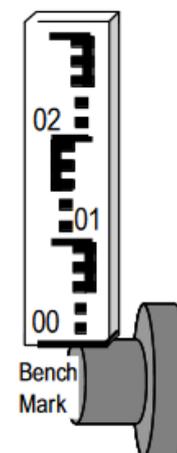
1. Kesalahan pembacaan besar pada kawat tengah membaca dan mencatat kawat stadia atas dan bawah,
2. Membaca kawat stadia atas atau bawah, bukan kawat tengah.
3. Paralaks dalam pembacaan tongkat, memeriksa reticle dan fokus objek.
4. Titik perubahan tidak stabil
5. Bagian tongkat tidak diperpanjang, atau tidak terkunci (Gambar 2.32).
6. Pencatatan data Bench Mark yang salah
7. Tidak menggunakan BM dengan benar memastikan permukaan referensi yang benar (Gambar 2.33).
8. Kesalahan transkripsi dalam buku lapangan pembentukan karakter, pencetakan, transposisi yang buruk.



Gambar 2.32 Kesalahan penampang.

Ringkasann

Bab ini memperkenalkan Anda pada perataan, yaitu prosedur survei yang digunakan untuk menentukan perbedaan elevasi. Dapat dikatakan, sebagian besar tugas yang akan Anda lakukan dalam operasi teknik sipil dan pertambangan akan memerlukan semacam informasi ketinggian (elevasi). Dalam bab-bab berikutnya, kita akan melihat bagaimana informasi ini menjadi vital untuk proyek desain/konstruksi.



Gambar 2.33 Referensi tanda acuan

BAB 3

RELIEF DAN POTONGAN VERTIKAL

3.1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini, kami akan memperkenalkan konsep relief dan potongan vertikal serta penerapannya pada teknik sipil dan tambang. Bab ini diawali dengan memberikan definisi terminologi yang akan digunakan di sini dan juga dalam lokakarya dan praktik lapangan. Kami berharap bahwa dengan mempelajari materi dalam Bab ini, lokakarya dan praktik lapangan, Anda akan:

- Mampu mendefinisikan relief dan mengetahui elemen-elemen dalam representasi relief.
- Mengetahui pentingnya relief dalam teknik sipil dan tambang.
- Memahami sifat potongan vertikal (potongan memanjang dan melintang).
- Memahami karakteristik kontur.
- Memahami prosedur survei untuk menelusuri kontur di lapangan.
- Mampu menginterpolasi garis kontur dari data survei.
- Mampu membedakan antara DTM dan DEM serta mengetahui kegunaannya.
- Untuk insinyur sipil, mampu merancang jalur kaki/siklis dari data leveling, yaitu RL dan FL (misalnya, praktik lapangan 2).
- Untuk insinyur tambang, mampu melakukan penetapan area petak untuk menyediakan level untuk desain operasi peledakan di lokasi tambang terbuka.

3.2 DEFINISI

1. **Relief:** Relief adalah istilah umum yang diterapkan pada bentuk tanah pada bidang vertikal. Representasi relief pada peta adalah menunjukkan ketinggian dan bentuk tanah di atas titik acuan, yang biasanya adalah permukaan laut rata-rata (MSL). Relief dapat direpresentasikan oleh ketinggian, bentuk, titik tinggi, dan kontur. Representasi ketinggian sebagian besar merupakan masalah faktual di mana variasi akan muncul dari jenis, kepadatan, dan keakuratan informasi yang diberikan sementara representasi bentuk sebagian besar bersifat artistik dan metodenya bervariasi pada peta yang berbeda. Peta yang dirancang untuk arsitektur dan insinyur untuk tujuan desain biasanya merepresentasikan relief baik dengan ketinggian titik atau kontur atau keduanya.
 - Dalam teknik, representasi relief diperlukan agar desain konstruksi dapat digambar dengan cara yang "selaras" dengan lokasi.
 - Jika insinyur tidak dapat mengunjungi lokasi, ia dapat mengandalkan representasi grafis relief dalam bentuk peta.
 - Semua peta topografi memiliki beberapa representasi relief.
 - Luas relief yang ditunjukkan pada peta akan bergantung pada skala dan tujuan peta.

2. **Skala:** Skala adalah rasio jarak di lapangan dengan jarak yang sama di peta, misalnya 1:20.000.
- 1 unit pada peta mewakili 20.000 unit di lapangan.
 - 1 unit pada peta setara dengan 20.000 unit di lapangan.
 - 1 m pada peta setara dengan 20.000 m di lapangan.
 - 1 mm pada peta setara dengan 200 m di lapangan.
3. **Titik ketinggian:** Ini adalah ketinggian yang kurang akurat dan biasanya tanpa tanda pasti di lapangan.
- Dipilih untuk menunjukkan ketinggian lapangan pada titik acak seperti puncak bukit dan lereng, dasar lembah, titik punggung bukit, dll., untuk melengkapi informasi dengan kontur.
 - Ditunjukkan dengan titik yang menunjukkan nilai ketinggian.
 - Akurasinya akan bervariasi, tetapi harus seakurat kontur. Ketinggian titik ditulis dengan titik desimal pada titik di tanah, dan nilai ketinggian ditulis pada lereng sehingga dapat dibaca dari sudut kanan bawah peta.
4. **Kontur:** Kontur adalah garis pada peta yang menghubungkan titik-titik dengan ketinggian yang sama, dan merupakan metode standar untuk menunjukkan relief pada peta topografi. Kontur menggabungkan indikasi ketinggian yang akurat dengan indikasi bentuk yang baik, terutama bila digunakan bersamaan dengan ketinggian titik. Ketinggian untuk membuat kontur dapat diperoleh dari pengukuran sudut (dikenal sebagai peninggian trigonometri, lihat Bab 6), perataan yang dibahas dalam Bab 2, dan dari pembuatan kisi-kisi seperti yang akan kita lihat di Bagian 3.4.

Penggunaan kontur:

- Digunakan untuk membuat penampang memanjang dan melintang untuk penyelidikan awal (lihat di bawah untuk definisi penampang memanjang dan melintang).
- Digunakan untuk membuat DEM dan DTM (akan dibahas di bagian selanjutnya).
- Digunakan untuk membuat garis rute dengan gradien konstan.
- Untuk menghitung volume (lihat Bab 3.4).
- Menggambarkan batas bendungan, jalan, rel kereta api, terowongan, dll. yang dibangun.
- Menggambarkan dan mengukur daerah drainase.

Properti kontur:

- Biasanya berupa garis kontinu (coklat). Setiap kontur keempat atau kelima, tergantung pada interval vertikal, disebut indeks dan biasanya dibuat lebih tebal agar lebih mudah dibaca.
- Pemisahan horizontal menunjukkan kecuraman tanah.
- Kontur yang sangat tidak teratur mendefinisikan medan yang kasar.
- Kontur dekat konsentris mewakili bukit atau cekungan.
- Garis kontur yang melintasi sungai membentuk V yang mengarah ke hulu.

- Tepi badan air membentuk garis kontur.
- Jarak vertikal antara kontur disebut interval. Pemilihan interval vertikal ini bergantung pada (i) jenis skala peta dan jenis negara yang dipetakan, misalnya, pada peta 1:50.000 dengan relief rata-rata, interval kontur mungkin 10 atau 20 m sedangkan pada skala 1:12.000 mungkin 0,5 m, (ii) jenis proyek yang terlibat, misalnya, pembuatan kontur landasan udara memerlukan interval yang sangat kecil, dan jenis medan; datar atau bergelombang. Interval dapat digunakan untuk menghitung gradien melalui “Gradien = Interval vertikal/ekuivalen horizontal”. Untuk tujuan biaya, semakin kecil interval semakin mahal biayanya.

5. Potongan memanjang dan potongan melintang:

- Potongan memanjang – Potongan vertikal sepanjang garis tengah dari keseluruhan panjang pekerjaan.
- Potongan melintang – Potongan vertikal yang digambar tegak lurus dengan garis tengah pekerjaan. Informasi yang diberikan oleh bagian-bagian tersebut menyediakan data untuk:
 - (a) Menentukan gradien yang sesuai untuk pekerjaan konstruksi.
 - (b) Menghitung volume pekerjaan tanah.
 - (c) Memberikan rincian kedalaman pemotongan atau ketinggian timbunan yang diperlukan.

Contoh: Perataan dilakukan pada garis tengah dan penampang melintang. Lihat Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Pengurangan level untuk desain jalan.

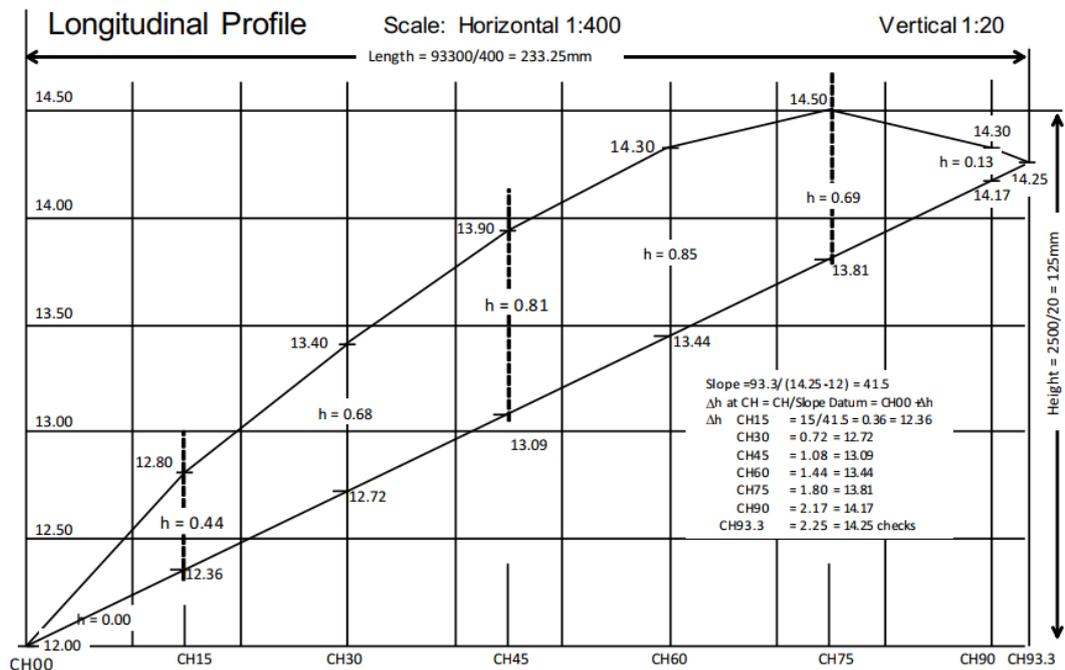
RL	RMK	Dibawah DATUM RL = 12.000	M=4	$h_L = \left(W_L - \frac{b}{2}\right) / m$	W_L	Slope k@5m atau interval offset	CL Grade Final Level	H =	Slope k@5m atau interval offset	W_R	$h_R = \left(W_R - \frac{b}{2}\right) / m$
			B=5					CUT/Fill			
13.191	00 15L	1.191	15L			15.9		1.19			
12.876	00 10L	0.876	10L			8.4		0.88			
12.281	00 5L	0.281	5L	0.18	3.2	17.8		0.28			
12.000	CH 00 CL	0.000	0				0.00	0.00			
12.000	00 5R	0.000	5R					0.00	DO or Level	2.5	0
12.800	CH 15 CL	0.800	15				0.36	0.44			
14.585	30 15L	2.585	15L			11.1		1.86			
14.132	30 10L	2.132	10L			13.0		1.41			
13.747	30 5L	1.747	5L	1.20	7.3	14.4		1.02			
13.400	CH 30 CL	1.400	30				0.72	0.68			
12.960	30 5R	0.960	5R					0.24	-11.4	3.9	0.35
12.725	30 7R	0.725	7R					0.00	-8.5		
13.900	CH 45 CL	1.900	45				1.09	0.81			
14.614	60 6L	2.614	6L			33.3		1.17			
14.584	60 5L	2.584	5L	1.20	7.3	17.6		1.14			
14.300	CH 60 CL	2.300	60				1.45	0.85			
14.129	60 5R	2.129	5R					0.68	-29.2	5.2	0.68
13.884	60 10R	1.884	10R					0.50	-20.4		

13.711	60 15R	1.711	15R					0.32	-28.9		
14.500	CH 75 CL	2.500	75				1.81	0.69			
15.177	90 9.5L	3.117	9.5L			14.1		1.05			
14.858	90 5L	2.585	5L	0.73	5.4	9.0		0.73			
14.300	CH 90 CL	2.300	90				2.17	0.13			
14.153	90 1.8R	2.153	1.8R					-0.02	-12.2	2.5	0
14.250	CH 93.3	2.250	93.3					2.25	0.00		

6. Formasi dan Level Terbalik:

- Level formasi dari setiap pekerjaan konstruksi adalah level tempat tanah digali atau diendapkan untuk mengakomodasi pekerjaan (misalnya, garis lurus yang naik dari CH00 dengan RL 12m ke CH93.3 dengan RL 14.25m pada Gambar 3.1). Lebar formasi adalah lebar fitur desain, misalnya, jalan.
- Level terbalik adalah bagian dalam dasar pipa tetapi untuk tujuan praktis dapat dianggap sebagai dasar penggalian.

Profil longitudinal yang diplot dari data yang diperkecil pada Tabel 3-1 ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Profil longitudinal dari pengukuran garis tengah pada Tabel 3-1

7. Tanggul dan Pematangan

- Tanggul – Elevasi formasi pekerjaan yang diusulkan lebih tinggi daripada elevasi tanah aktual sehingga lereng samping (batter) menurun dari elevasi formasi ke tanah (lihat misalnya, Gambar 3.2).
- Pematangan adalah kebalikannya, yaitu, ketika elevasi formasi lebih rendah daripada tanah aktual (lihat misalnya, Gambar 3.3).

8. Gradien desain, gradien batter, dan gradien permukaan

Gradien desain adalah kemiringan fitur desain, misalnya, jalan (naik atau turun seperti yang dibahas dalam Bab 9). Gradien batter adalah lereng samping pada Tabel 3-1 Elevasi yang diperkecil untuk desain jalan. di atas, sedangkan lereng permukaan (k) adalah kemiringan permukaan tanah aktual (lihat Bagian 3.4).

9. **Chainage** – Ini adalah pengukuran linier dari awal struktur, misalnya jalan sepanjang garis tengah pada interval tertentu. Pengukuran ini biasanya ditentukan pada tahap desain dan berguna dalam menentukan titik-titik di mana elevasi yang dikurangi harus diambil untuk pembuatan profil memanjang dan penampang.

10. Elevasi Digital dan Model Medan Digital

- DEM (*Digital Elevation Model*) adalah representasi permukaan medan secara numerik oleh jaringan titik-titik yang sangat padat dengan koordinat X, Y, Z yang diketahui. Ini mencakup fitur medan alami, vegetasi, jalan, bangunan, dll. Jaringan Triangulasi Tidak Beraturan (TIN) lebih disukai untuk pemodelan DEM. Triangulasi Delaunay digunakan untuk membuat jaringan segitiga dengan kondisi terbaik. Input DEM yang diperlukan untuk menghasilkan permukaan untuk desain teknik dapat berupa urutan (grid), semi-urutan (profil atau kontur) atau penunjuk acak.
- DTM (*Digital Terrain Model*) adalah versi DEM yang difilter dan berisi "Bumi kosong".

Pemanfaatan DEM dan DTM

- DEM dapat digunakan untuk:
 - Lansekap
 - Pemodelan kota
 - Aplikasi visualisasi. □ DTM dapat digunakan untuk
 - Pemodelan banjir (dari garis kontur)
 - Pemodelan drainase (dari kontur dan penampang melintang)
 - Studi penggunaan lahan
 - Model lereng atau perhitungan volume (dari penampang melintang).

3.3 APLIKASI: DESAIN JALAN

Desain jalan baru umumnya akan terbagi menjadi (i) jalan yang mengikuti rute yang ada, misalnya, yang terlibat dalam peningkatan jalan yang ada atau deviasi pendek atau (ii) jalan yang mengikuti rute baru, misalnya, jalan yang menghubungkan dua titik untuk pertama kalinya. Untuk desain jalan di sepanjang rute yang ada, survei penampang melintang jalan yang ada umumnya dilakukan sebagai langkah pertama dalam desain. Survei ini mencakup, misalnya, penampang melintang jalan setiap 25m di sepanjang formasi tempat lokasi yang diukur akan mencakup:

- Garis tengah, tepi aspal, tepi formasi, dasar saluran pembuangan, bagian atas saluran pembuangan, perubahan tingkat kemiringan lainnya, pagar, dll.

- Perabotan jalan (untuk semua perlengkapan di jalan dan cadangan jalan). ☒ Perbaikan seperti bangunan dan jembatan.

Dalam contoh Australia, desain jalan untuk rute yang sudah ada umumnya akan dilakukan dalam 3 tahap sebagai berikut:

1. **Tahap 1 (Kontrol Horizontal, lihat Bab 5)** - Titik kontrol ditempatkan kira-kira setiap 250 m di jalan aspal yang sudah ada dan dihubungkan ke Australian Map Grid (AMG) melalui Standard Surveying Marks (SSM) yang berdekatan. Persyaratannya umumnya adalah lintasan dengan akurasi 1:10.000 hingga 1:20.000 atau lebih baik (Bab 5).
2. **Tahap 2 (Kontrol Vertikal, lihat Bab 2)** - Titik kontrol dihubungkan ke Australian Height Datum (AHD) melalui Bench Mark yang berdekatan. Persyaratannya umumnya adalah lintasan datar dengan akurasi 12 mmvk, di mana k adalah jarak lintasan dalam kilometer.
3. **Tahap 3 (Survei Detail)** - Survei penampang melintang dilakukan setiap 20 m di sepanjang alinyemen jalan. Dari titik kontrol yang ditetapkan pada tahap 1 dan 2 di atas, survei radiasi EDM tidak lebih dari 125 m dilakukan. Pengukuran jarak dan sudut dilakukan bersamaan dengan ketinggian instrumen dan target. Dari pengukuran ini, peta topografi yang menunjukkan fitur dan kontur/penampang melintang dapat dibuat. Perlu dicatat bahwa jenis survei ini dapat dilakukan dengan menggunakan survei GPS (Bab 10). Untuk Australia, departemen jalan raya utama telah merumuskan serangkaian prosedur yang mencakup survei penampang melintang seperti ini.

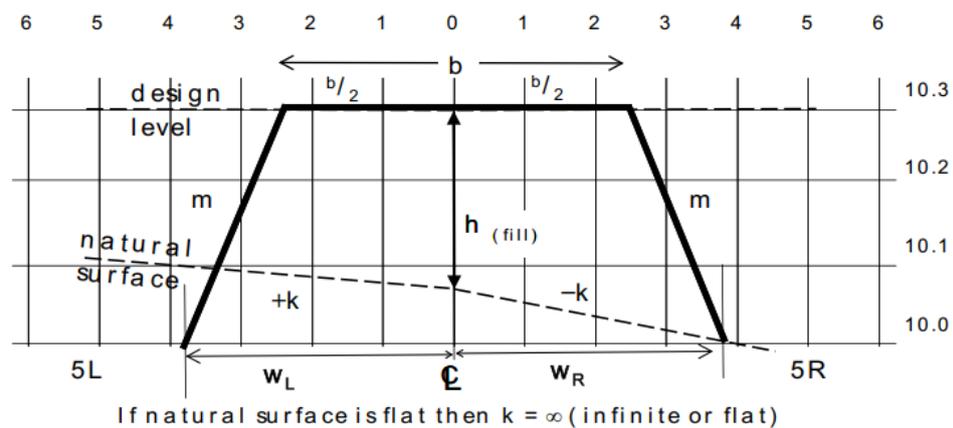
3.4 PERHITUNGAN PENAMPANG MELINTANG JALAN DALAM OPERASI GALI DAN TIMBUN

Perhitungan luas penampang melintang jalan disajikan sebagai serangkaian materi yang dikembangkan untuk lokakarya Survei Teknik Sipil untuk mencoba menyaring dan menyederhanakan materi yang disajikan dalam buku teks standar. Profil tanggul yang disederhanakan, baik dalam bentuk potongan maupun timbunan, digunakan sebagai ilustrasi. Lihat Gambar 3.2.

Komponen dasar desain tanggul adalah:

1. Perkerasan, lebar desain. Ini diberi label b . Ini simetris terhadap garis tengah.
2. Tingkat penyelesaian desain garis tengah formasi, titik acuan.
3. Tingkat permukaan pada garis tengah formasi.
4. Perbedaan antara tingkat penyelesaian desain garis tengah dan tingkat permukaan, baik kedalaman potongan atau timbunan, h .
5. Kemiringan dasar formasi, gradien yang dibangun dari operasi potongan atau timbunan, diberi label m . Kemiringan dinyatakan sebagai rasio naik dan turun 1: m ., misalnya 1:3 berarti bahwa untuk setiap perubahan vertikal pada ketinggian akan ada peningkatan 3 kali lipat dalam deviasi horizontal. Biasanya lereng dasar, m , dirancang untuk meniru posisi alami bahan konstruksi formasi. Dalam konstruksi jalan yang menggunakan bahan alami, kemiringan mungkin berbeda untuk operasi pemotongan dibandingkan dengan timbunan.

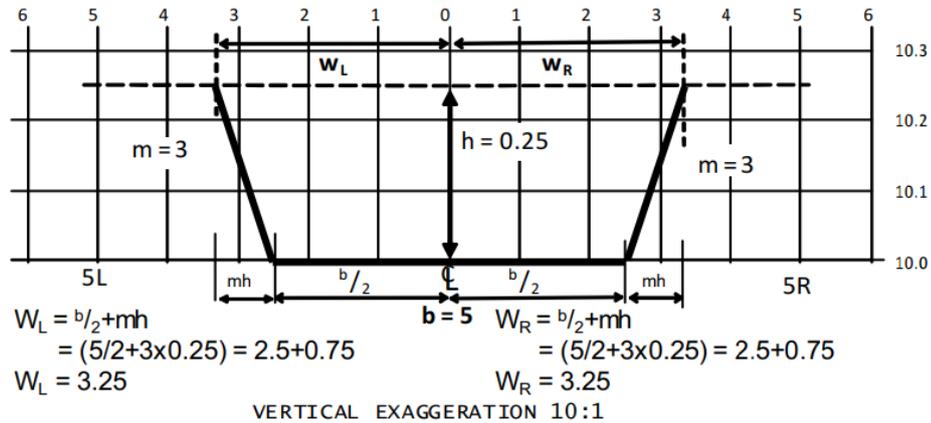
6. Kemiringan melintang permukaan alami dari garis tengah desain diberi tanda k , dan mengarah keluar melewati perpotongan lereng. Untuk perhitungan, k memiliki tanda sedemikian rupa sehingga $+k$ menunjukkan kenaikan dari garis tengah ke arah luar sementara $-k$ menunjukkan penurunan dari garis tengah ke arah luar. Jika tidak ada kemiringan melintang, maka lereng datar, dan $k = 0:1$ atau $k \rightarrow \infty$ ($k = 10.000$ akan cukup dalam perhitungan umum).
7. Lebar formasi, jarak dari garis tengah tempat lereng adonan memotong permukaan diberi tanda w dan dinyatakan sebagai jarak kiri, w_L , dan kanan, w_R , dari garis tengah. Lebar formasi bergantung pada h , $b/2$, m , dan k . Perhitungan dinyatakan sebagai jarak di kedua sisi, kiri, atau kanan garis tengah. Penandaan kiri dan kanan diambil dalam arti mengamati arah kemajuan garis tengah, yaitu, rantai yang bertambah. Gambar 3.2 menunjukkan definisi yang diberikan di atas untuk bagian yang diisi. Perhatikan bahwa jarak penampang diukur secara horizontal dari garis tengah. Jarak vertikal diberi label, dalam hal ini, dari beberapa titik acuan vertikal sembarang yang dimulai pada 10,0. Level akhir berada pada 10,3 dan level permukaan garis tengah sekitar 10,08. Jadi $h = 0,22$.



Gambar 3.2 Definisi timbunan penampang.

Diagram penampang sering kali ditunjukkan dengan pembesaran vertikal yang membantu mengilustrasikan penampang formasi. Pada Gambar 3.2 pembesaran vertikal sebesar 10:1 terlihat jelas.

Pembesaran vertikal pada skala tertentu juga memungkinkan seseorang untuk memetakan penampang jalan, yang menunjukkan permukaan alami dan lebar perkerasan pada tingkat desain. Dengan memetakan tepian formasi (pada skala pembesaran), dimungkinkan untuk menskalakan intersep lebar formasi dengan permukaan alami.



Gambar 3.3 Lebar formasi untuk permukaan datar.

Perhitungan Lebar Formasi yang Dipotong w_L , dan w_R , Tanah Datar

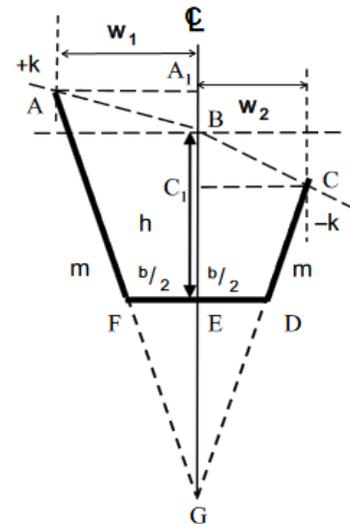
Pengembangan perhitungan lebar formasi akan dimulai dengan tanggul yang dipotong yang mengacu pada permukaan alami yang datar (Gambar 3.3).

Komponen desainnya adalah:

- lebar perkerasan, $b = 5$
- lereng tepian, $m = 3$
- kedalaman (pemotongan/pengurusan), $h = 0,25$,
- lereng melintang datar, k diabaikan.

Perhitungan Lebar Formasi, w_L , dan w_R , dengan Menggabungkan Kemiringan Silang. Tanah Miring

Gambar 3.4 memperkenalkan kemiringan permukaan, k , yang perlu diperhitungkan untuk menentukan lebar formasi w_L dan w_R . Jelas dari diagram yang lebih-lebihkan bahwa, dibandingkan dengan permukaan datar, lebar bidang miring harus meningkat saat kita "mengejar" lereng ke atas (k positif) untuk memotong tanah. Demikian pula, lebar bidang miring akan berkurang terhadap lereng yang menurun (k negatif). Bagaimana caranya?



Gambar 3.4 Lebar formasi untuk permukaan miring.

Derivasi lebar formasi yang menggabungkan cross fall.

Dalam diagram, Gambar 3.4:

$$A_1B = \frac{w_1}{k_1}$$

Kesamaan: $C_1B = \frac{w_2}{k_2}$

Perbedaan ketinggian antara tanah pada garis tengah dan intersepsi formasi disebabkan oleh kemiringan 1:k pada jarak w_1 .

Pemukul yang diperpanjang, dengan kemiringan m , di atas dasar horizontal $b/2$ memotong garis tengah di G dengan ketinggian:

$$GE = \frac{b}{2m}$$

Segitiga AA_1G dan FEG sebangun. Jadi, dengan menggunakan segitiga sebangun:

$$\frac{AA_1}{FE} = \frac{GA_1}{GE}$$

dan mengganti:

$$\frac{w_1}{b/2} = \left\{ \frac{\frac{b}{2m} + h + \frac{w_1}{k_1}}{b/2m} \right\} \Leftrightarrow w_1 = m \left[\frac{b}{2m} + h + \frac{w_1}{k} \right]$$

$$w_1 = \left(1 - \frac{m}{k} \right) = \frac{b}{2} + mh$$

$$w_1 = \left(\frac{b}{2} + mh \right) \left(\frac{k}{k-m} \right)$$

Jika penyebutnya lebih kecil dari pembilangnya, maka $\left(\frac{k}{k-m} \right) > 1$

Perhatikan bahwa kemiringan k telah dianggap positif. Jika kemiringan menurun dari garis tengah (membuat $w = b/2 + mh$ maka kita harus menyatakan w_2 sebagai:

$$w_2 = \left(\frac{b}{2} + mh \right) \left(\frac{k}{k-m} \right)$$

Jika penyebut lebih besar dari pembilangnya, maka $\left(\frac{k}{k+m} \right) < 1$

Ini berarti menerapkan salah satu dari dua aturan, yang ditentukan dengan memeriksa k , untuk kemiringan naik atau turun dari garis tengah.

Namun, jika kita menerapkan tanda kemiringan ke k maka kita dapat menyatakan lebar formasi kiri dan kanan dengan satu rumus:

Karena

$$w_{L/R} = \left(\frac{b}{2} + mh \right) \left(\frac{k}{k-m} \right)$$

dan, jika k negatif maka:

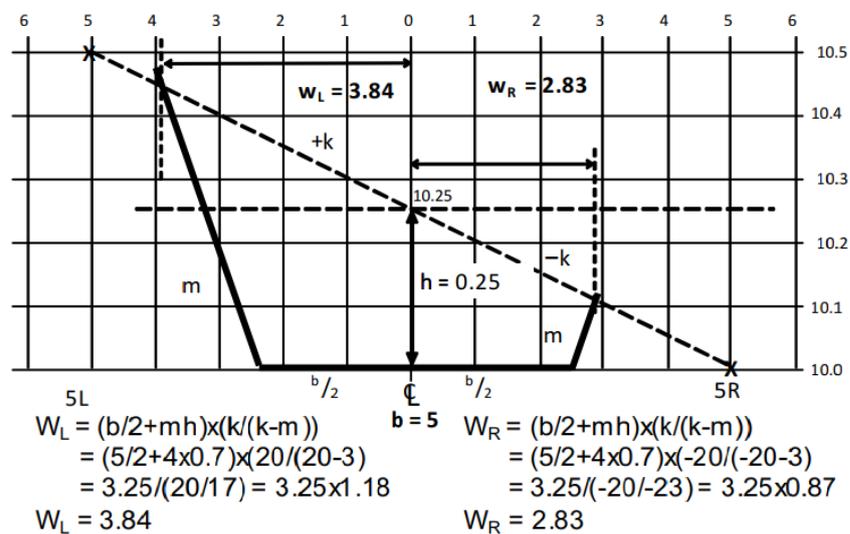
$$w_{L/R} = \left(\frac{b}{2} + mh \right) \left(\frac{-k}{-k-m} \right) \Leftrightarrow \left(\frac{b}{2} + mh \right) \left(\frac{k}{k+m} \right)$$

Ini kembali ke pernyataan awal untuk w_2 , seperti yang dinyatakan di atas, di mana kemiringan menurun dari garis tengah. Sebaiknya hanya memiliki satu rumus untuk digunakan, dan gunakan tanda k untuk mengendalikan penyebut.

$$w_{L/R} = \left(\frac{b}{2} + mh \right) \left(\frac{k}{k - m} \right)$$

Perhitungan Lebar Formasi, w_L dan, w_R , Condongnya Tanah Lintas

Pengembangan perhitungan lebar formasi sekarang beralih ke perhitungan lebar formasi terhadap permukaan alami yang terus-menerus miring (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Lebar formasi untuk crossfall konstan.

Pada Gambar 3.5 kemiringan silang telah dihitung dari profil level yang diukur di lapangan:

- 10,5 RL pada 5m Kiri
- 10,25 RL garis tengah
- 10,0 RL pada 5m Kanan

Kemiringan k dihitung menggunakan run/rise dari garis tengah:

$$\begin{aligned} k_L &= 5 / (10,5 - 10,25) \\ &= 5 / 0,25 = 20, \end{aligned}$$

kenaikan menjauhi garis tengah, dan demikian pula

$$\begin{aligned} k_R &= 5 / (10,0 - 10,25) \\ &= 5 / -0,25 = -20, \end{aligned}$$

kemiringan menjauhi garis tengah.

Komponen desain adalah:

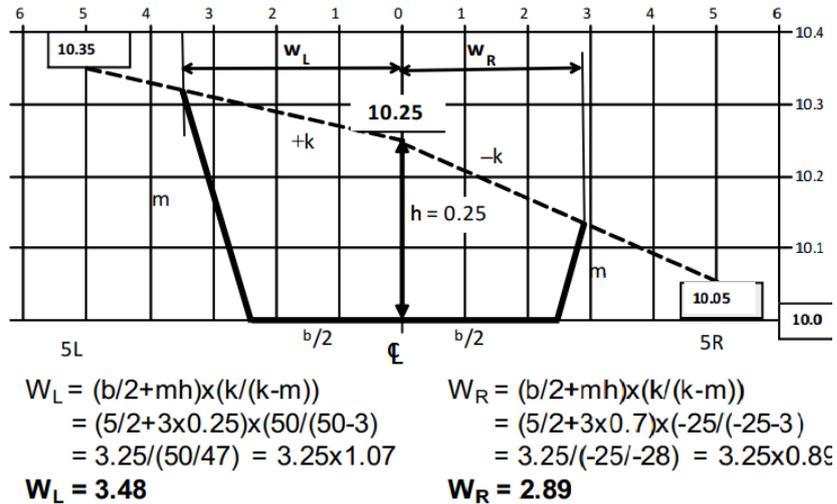
- lebar perkerasan, $b = 5$
- kemiringan dasar, $m = 3$
- kedalaman (pemotongan atau penimbunan), $h = 0,25$
- kemiringan silang adalah **1:20**, $k_L = +20$, $k_R = -20$.

Dengan menerapkan rumus

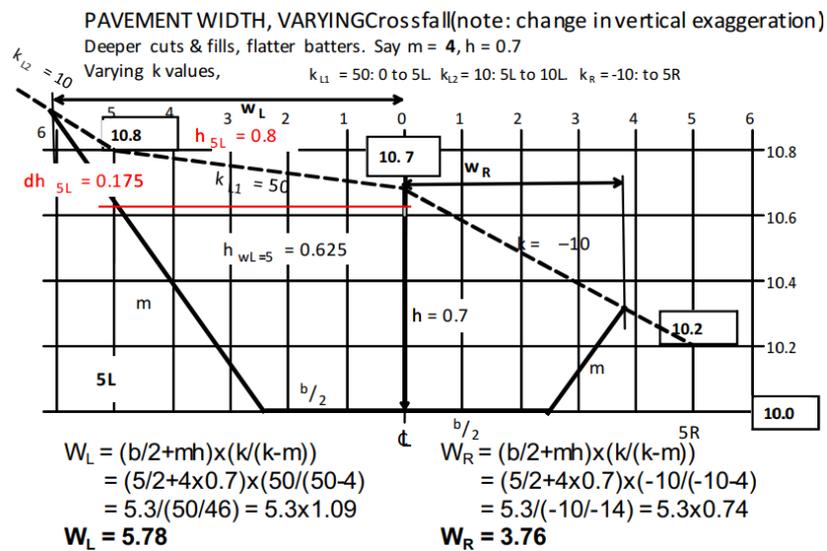
$$w_{L/R} = \left(\frac{b}{2} + mh\right) \left(\frac{k}{k-m}\right)$$

menghasilkan $w_L = 3,84$ dan $w_R = 2,83$.

Perhitungan w_L dan w_R ditunjukkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7, yang menunjukkan operasi tanda k pada hasil.



Gambar 3.6 Lebar formasi untuk crossfall yang bervariasi.



Gambar 3.7 Lebar formasi saat intersepsi bola jatuh di luar penampang.

Perhitungan Lebar Formasi, w_L dan w_R , Tanah Jatuh Melintang yang Bervariasi

Pengembangan perhitungan lebar formasi kemudian beralih ke perhitungan lebar formasi terhadap permukaan alami yang miring bervariasi (Gambar 3.6).

Pada Gambar 3.6, kemiringan silang telah dihitung dari profil level yang diukur di lapangan:

- 10,35 RL pada 5m Kiri
- 10,25 RL garis tengah

10,05 RL pada Lereng Kanan 5m k dihitung menggunakan run/rise dari garis tengah:
 $k_L = 5/(10,35 - 10,25)$
 $= 5/0,1 = 50,$

naik menjauhi garis tengah, dan demikian pula

$k_R = 5/(10,05 - 10,25)$
 $= 5/-0,2 = -25,$

turun menjauhi garis tengah.

Komponen desainnya adalah:

lebar perkerasan, $b = 5$

lereng, $m = 3$

kedalaman (pemotongan atau penimbunan), $h = 0,25$

lereng silang bervariasi, $k_L = +50, k_R = -25.$

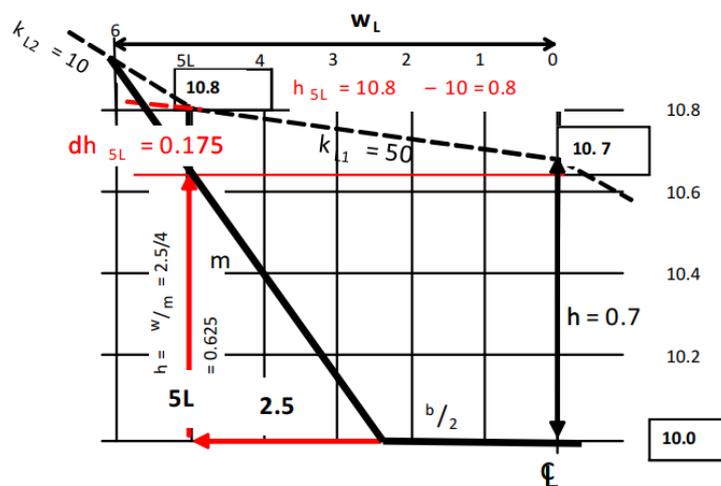
Menerapkan rumus

$w_{L/R} = \left(\frac{b}{2} + mh\right) \left(\frac{k}{k-m}\right)$ menghasilkan $w_L = 3,48$ dan $w_R = 2,89.$

Kasus lain yang perlu dipertimbangkan adalah ketika kedalaman, h , sedemikian rupa sehingga intersepsi pemukul jatuh di luar penampang melintang pertama.

Lebar Pemukul Jatuh di Luar Penampang Melintang Pertama

Perhitungan dengan berbagai variasi kemiringan melintang.



At $w_L = 5, h = (5-b/2)/m = 2.5/4 = 0.625$

$h_{5L} = RL_{5L} - datum = 10.8 - 10 = 0.8,$

$dh = 0.8 - 0.625 = 0.175$

$w_L = 5L + (mh) \times (k/(k-m))$

$= 5 + (4 \times 0.175) \times (10/(10-4))$

$= 5 + 0.7 / (10/6) = 5 + 1.7 \times 1.17$

$w_L = 5 + 1.17 = 6.17$

Gambar 3.8 Intersepsi pemukul yang diperpanjang.

Pada Gambar 3.7, intersepsi pemukul, $w_L = 5,78m$, dengan menggunakan $k = 50$, berada di antara 5L dan 10L. Seperti yang diungkapkan catatan lapangan, RL pada:

10L = 11,3.

5L = 10,8

$$CL = 10,7$$

$$Datum = 10,0$$

Kemiringan yang dihasilkan, dari CL ke 5L (K_{L1}) dan 5L ke 10L (K_{L2}) adalah:

$$K_{L1(CL-5L)} = 5/(10,8 - 10,7) = +50$$

$$K_{L2(5L-10L)} = 5/(11,3 - 10,8) = +10.$$

Berapakah tinggi lereng batter di atas titik acuan pada offset profil 5L?

Temukan tinggi di mana batter $m = 4$ memotong penampang melintang 5L.

$$\text{Di sini } b = 5, \text{ jadi } b/2 = 2,5.$$

Dari tepi formasi, lereng batter naik dari 2,5L pada kemiringan

$$m = 4 \text{ hingga memotong 5L, dengan jarak } 2,5\text{m.}$$

Lihat Gambar 3.8.

Karena $w = mh$ maka

$$h = w/m$$

Intersep pemukul dengan 5L berada pada ketinggian:

$$h_{wL} = 5 = 2,5/4 = 0,625 \text{ pada 5L.}$$

Beralih ke desain:

h_{5L} adalah tinggi permukaan pada 5L di atas datum desain.

Dari buku lapangan dan tingkat desain $h_{5L} = (10,8 - 10,0) = 0,8$

Kedalaman intersep pemukul pada 5L, disebut dh_{5L} , antara permukaan 5L dan intersep pemukul 5L adalah:

$$dh_{5L} = 0,8 - 0,625 = 0,175$$

di bawah permukaan pada 5L.

Berapakah pertambahan lebar formasi, dw_L , dari 5L, tempat pemukul masih berada di bawah lereng, ke intersep permukaan lereng $k_{L2} = +10$ yang menanjak? Mengurangi:

$$dh_{5L} = 0,175$$

$$k_{L2} = +10$$

$$m = 4$$

dw_L kemudian dihitung menggunakan rumus

$$dw_L = (m dh_{5L})(k_{L2}/(k_{L2} - m))$$

$$= (4 \times 0,175)(10/(10-4))$$

$$dw_L = 1,17.$$

Total $w_L = w_{L=5} - dw_L$

$$= 5 + 1,17 = 6,17 \text{ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.}$$

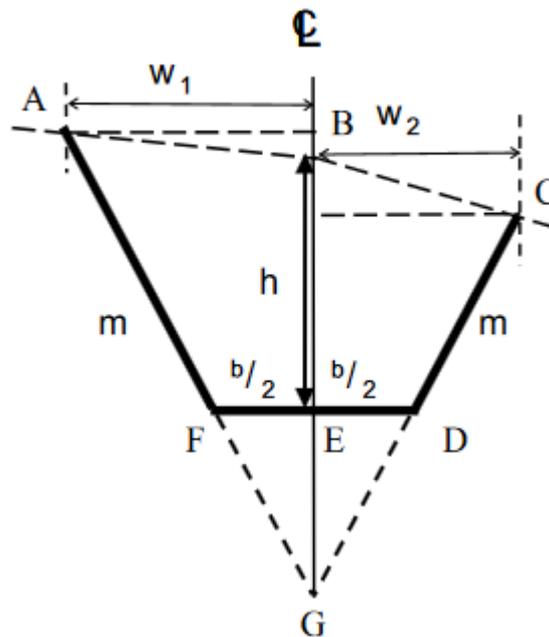
Turunan Rumus AREA menggunakan Lebar Formasi

Setelah menghitung lebar formasi, w_L dan w_R , menghitung AREA penampang menjadi hal yang mudah. Kemiringan KONSTAN diasumsikan dari titik potong bidang datar ke garis tengah. Kemiringan individual, k dapat bervariasi karena hanya memengaruhi lebar formasi w_L dan w_R .

Dalam praktiknya, mengasumsikan kemiringan konstan tidak akan banyak berpengaruh terhadap luas yang dihitung dibandingkan dengan metode yang lebih mengikuti

profil permukaan, yang mengandalkan penggunaan metode penentu matriks. Pada Gambar 3.9;

$$\begin{aligned}
 \text{Area } ABCDFA &= \text{Area } ABG + \text{Area } CBG - \text{Area } DFG \\
 &= \frac{1}{2} w_1 (h + EG) + \frac{1}{2} w_2 (h + EG) - \frac{1}{2} (FD \cdot EG) \\
 EG &= \frac{b}{2m}, FD = b \\
 &= \left\{ \frac{1}{2} w_1 \left(\frac{b}{2m} + h \right) + \frac{1}{2} w_2 \left(\frac{b}{2m} + h \right) \right\} - \frac{1}{2} b \left(\frac{b}{2m} \right) \cdot \text{Factor Out } \left(\frac{1}{2} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left(\left(\frac{b}{2m} + h \right) (w_1 + w_2) - \frac{b^2}{2m} \right) \cdot \text{Factor out } \left(\frac{1}{m} \right) \\
 \text{Area} &= \frac{1}{2m} \left(\left(\frac{b}{2} + mh \right) (w_1 + w_2) - \frac{b^2}{2} \right)
 \end{aligned}$$



Gambar 3.9 Perhitungan luas.

Perhatikan prosesnya.

Anda harus menghitung $\left(\frac{b}{2} + mh\right)(w_1 + w_2)$ mengurangi $\frac{b^2}{2}$ dan kemudian membagi hasilnya dengan $\frac{1}{2m}$ Menggunakan nilai pada Gambar 3.6,

$$\text{Area} = \frac{1}{2 \times 3} \left(\left(\frac{5}{2} + 3 \times 0.25 \right) (3.46 + 2.9) - \frac{5^2}{2} \right) = \frac{1}{6} \{ (3.25)(6.36) - 12.5 \} = \mathbf{1.36}$$

Luas dengan Determinan Matriks

Mengacu pada Gambar 3.10, kita dapat melihat bahwa penampang tersebut menyediakan set koordinat XY jika kita dapat menentukan \mathbf{h}_L dan \mathbf{h}_R , di atas titik acuan.

Setelah menentukan w_L dan w_R , kita kemudian dapat menghitung tinggi intersep batter dengan kemiringan tanah di atas permukaan titik acuan.

Pada dasarnya $w = mh$

($b/2$ hanya memperhitungkan lebar formasi; k memperkenalkan efek kemiringan.)

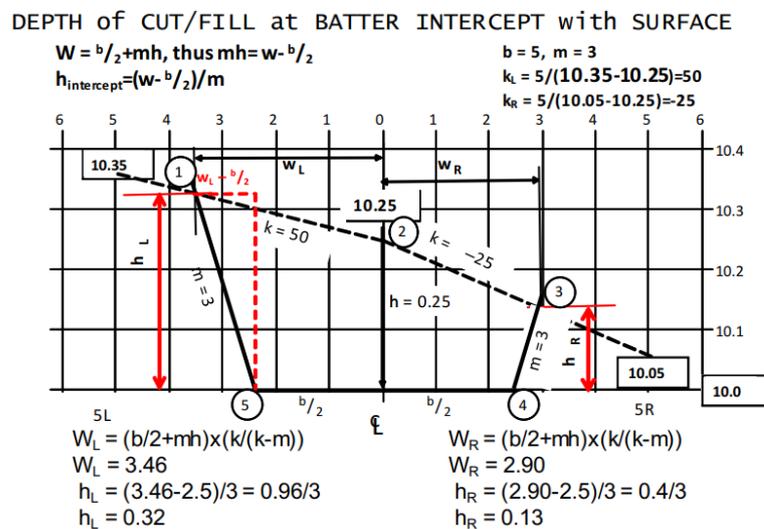
Sekarang $w = b/2 + mh$,

dengan demikian $w - b/2 = mh$, dan

$$h = (w - b/2)/m.$$

Mengikuti Gambar 3.10, koordinat XY penampang dapat ditabulasikan:

Ingat, garis tengah berada pada $w = 0$.



Gambar 3.10 Perhitungan luas, mencari intersep permukaan.

$$2 \text{ Area} = \sum_{p=1}^n (X_p Y_{p+1} - Y_p X_{p+1})$$

Metode ini menghasilkan 2 AREA. Jadi:

$$\text{Area} = \frac{1}{2} \left(\sum_{p=1}^n (X_p Y_{p+1} - Y_p X_{p+1}) \right)$$

Dan ingat untuk menutup kembali ke titik awal.

	{w, h} represents the {X, Y} coordinates above the datum in Figure 3.10.
Point	Matrix determinant method
1	All the zero elements drop out.
2	$\begin{vmatrix} -3.46 & 0.32 \\ 0.0 & 0.25 \\ 2.9 & 0.13 \\ 2.5 & 0.0 \\ -2.5 & 0.0 \\ -3.46 & 0.32 \end{vmatrix}$
3	$\Sigma_{+ve} 2 \text{ Area} =$ $\rightarrow (-3.46 \cdot 0.25 + -2.5 \cdot 0.32)$ $- (2.9 \cdot 0.25 + 2.5 \cdot 0.13).$
4	$= -1.66 - 1.05 = -2.71$
5	Σ_{-ve} taking absolute value:
1	$\text{Area} = \frac{1}{2} 2.71 \text{m}^2 = 1.36.$

3.5 PERHITUNGAN VOLUME TANGGUL JALAN DALAM GALIAN DAN TIMBUNAN

Setelah menghitung berbagai luas penampang, ada sejumlah cara untuk menemukan volume pekerjaan tanah.

- a) Perhitungan volume dari luas rata-rata.

$$\text{Volume} = V = \left(\frac{A_1 + A_2 + A_3 \cdots A_{n-1} + A_n}{n} \right) \cdot L$$

Metode ini tidak disarankan.

- b) Perhitungan volume dari area ujung.

$$\text{Volume} = \Sigma V = D_{12} \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) + D_{23} \left(\frac{A_2 + A_3}{2} \right) + D_{34} \left(\frac{A_3 + A_4}{2} \right) + \cdots$$

Dan dimana D adalah jarak umum antar bagian

$$\text{Volume} \quad \Sigma V = D \left(\frac{A_1 + A_n}{2} + A_2 + A_3 \cdots A_{n-1} \right) \Rightarrow \frac{D}{2} (A_1 + A_n + 2A_2 + 2A_3 + \cdots 2A_{n-1})$$

- c) Perhitungan volume dari Aturan Simpson. Anda memerlukan jumlah penampang GANJIL.

$$\text{Volume} \quad \Sigma V = \frac{D}{3} (A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_4 \cdots 2A_{n-2} + 4A_{n-1} + A_n)$$

Ini adalah variasi dari rumus prisma.

n harus berupa jumlah bagian **ganjil**.

D adalah jarak **antar** bagian.

3.6 SKALA RENCANA, HORIZONTAL DAN VERTIKAL

Untuk gambar rencana yang akan dibuat di atas kertas, skala didefinisikan sebagai representasi hubungan antara satuan ukuran di atas kertas dan satuan ukuran di tanah. Ini adalah fraksi representatif antara satuan kertas dan satuan tanah.

skala 1:1000 berarti bahwa 1 mm di atas kertas = 1000 mm (1 m) di tanah.

Misalnya, area latihan praktik pertambangan berukuran sekitar 120 m x 110 m. Area kisi-kisi berukuran sekitar 80 m x 60 m.

Area latihan kisi-kisi Teknik Sipil berukuran 100 m x 40 m.

Lembar kertas A4 berukuran 297 mm x 210 mm yang darinya margin sekitar 10 mm harus dikecualikan. Jadi, area gambar berukuran sekitar 275 mm x 190 mm. Anda juga harus memperhitungkan blok judul, panel revisi, bilah skala, dll.

Pada kenyataannya, area pemetaan berukuran sekitar 250 mm x 190 mm

Pada skala 1:400, ini mewakili area seluas 100 m x 76 m; pada skala 1:500, ini mewakili area seluas 125 m x 95 m

Untuk disajikan pada selembarnya kertas A4 pada skala 1:500, ukuran denah akan menjadi:

$$1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}/500 = 2,0 \text{ mm},$$

$$\text{pohon berdiameter } 600 \text{ mm} = 1,2 \text{ mm (dapatkan Anda menggambar radius } 0,6 \text{ mm?)}$$

$$0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm}/500 = 0,2 \text{ mm. Ini di bawah batas pemetaan manual.}$$

Dengan demikian, denah teknik dapat disajikan pada skala 1:400, tetapi denah lokasi penambangan harus dipangkas lebarnya (luas E/W) agar sesuai pada skala 1:500. Lembar A3, disisipkan dalam orientasi lanskap dan dilipat Z ke A4, menyediakan ruang untuk area yang lebih luas.

Penggaris skala segitiga, Staedtler MARS 561 98-4 atau yang serupa, dengan skala 1:100, :200, :250, :300, :400 dan 1:500 direkomendasikan untuk pemetaan manual.

3.7 EKSAGGERASI VERTIKAL

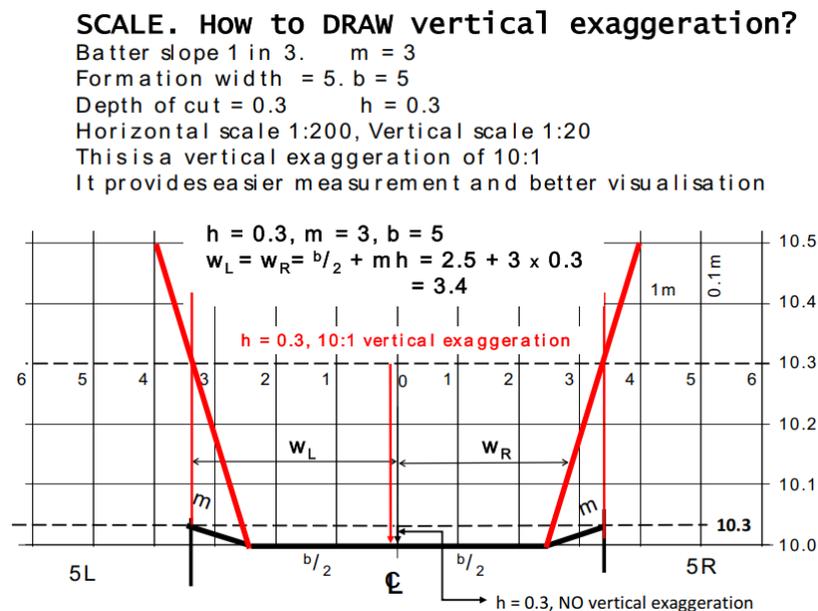
Dari pembahasan sebelumnya tentang tanggul, dapat dilihat bahwa, jika dibandingkan dengan lebar tanggul, kedalamannya bisa kecil.

Pada skala sebesar 1:200, lebar tanggul penuh $6,8 \text{ m} = 6800/200 = 34 \text{ mm}$.

Namun, kedalaman yang sesuai sebesar $0,3 \text{ m}$ pada skala yang sama $= 300/200 = 1,5 \text{ mm}$.

Hal ini sangat sulit untuk diplot, dan hampir mustahil untuk diukur untuk mengekstrak data penampang melintang.

Dengan memiliki eksaggerasi vertikal, katakanlah, 10:1 maka skala vertikal = 1:20. Jadi, kedalaman $0,3 \text{ m} = 300/20 = 15 \text{ mm}$. Ini adalah profil yang jauh lebih mudah untuk digambar. Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Eksaggerasi vertikal.

Namun, Anda hanya dapat menggunakan eksaggerasi vertikal dalam gambar profil (elevasi). Semua gambar rencana harus menggunakan skala yang sama pada sumbu X dan Y.

3.8 KETSA DAN GAMBAR RENCANA

Kemampuan untuk menyajikan rencana yang digambar dengan tangan sangat penting dalam penyajian pengamatan awal. Sketsa lapangan yang rapi dan akurat, yang dibuat tanpa menggunakan program CAD, meningkatkan pemahaman data lapangan dengan cepat.

Alat-alat yang dibutuhkan adalah: 1) busur derajat 360°; 2) penggaris dengan skala yang baik; 3) kompas yang bagus untuk busur dan lingkaran; 4) segitiga 30° dan 45°; 5) pensil dan penghapus. Kertas kosong yang bagus sangat penting, dan kertas grafik yang dicetak dengan akurat sangat berguna. (Fotokopi kertas grafik menyebabkan penyusutan kisi; sehingga skala tidak diplot dengan benar.)

Gambar sketsa lapangan dalam buku lapangan tidak harus memiliki skala tertentu, tetapi rasio antara jarak yang diukur harus dipertahankan sehingga gambarnya konformal. Jika Anda membuat skala 80mm = 105m maka 75m adalah sekitar 60mm (57). Contoh ini (105/0,08) memiliki skala 1:1312 yang dapat disimpan dalam memori kalkulator untuk digunakan selama sketsa.

Gunakan busur derajat yang sejajar, secara umum, dengan Utara yang wajar. Sejajarkan arah dengan akurat. Anda kemudian dapat membaca sudut yang akan membantu pengurangan pengamatan, terutama arah di kedua sisi 360°. Untuk gambar radiasi (bidikan samping), busur derajat dapat dipasang di atas titik pengamatan, arah diradiasikan dan kemudian, busur derajat dilepas, jarak ke titik diskalakan dengan penggaris.

3.9 PERHITUNGAN VOLUME TANGGUL DARI LERENG TERJAL

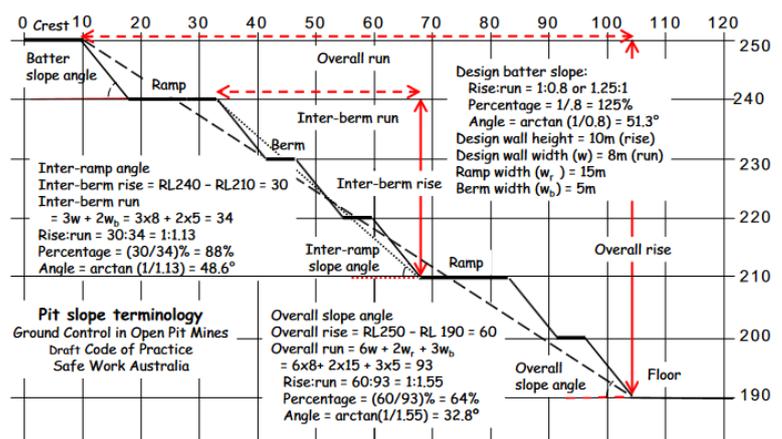
Terjal, Landai, dan Bangku.

Sebagai pengantar pengembangan tambang dan pekerjaan tanah sipil, Anda harus mempelajari mekanika teknik, geologi, dan mekanika benda padat. Geomekanika pertambangan dan rekayasa geoteknik tambang akan dibahas kemudian dalam kursus Anda. Pengantar survei lereng tambang ini akan memberikan beberapa alat matematika untuk desain lereng tambang. Lereng tambang yang dihitung dan dibangun dengan benar merupakan bagian integral dari stabilitas lereng. Sebagai seorang insinyur dan manajer, Anda akan bertanggung jawab atas desain dan implementasi dinding tambang baik dalam operasi penggalian maupun penimbunan. Dengan demikian, perhitungan lereng, luas, dan volume mengikuti rumus yang digunakan dalam desain jalan.

Dalam desain tambang terbuka (Gambar 3.12), pertanyaan utama yang harus dijawab adalah asal batas desain.

Apakah desain dimulai pada batas puncak permukaan tanah?

Jika demikian, jarak ke ujung lereng akan bergantung pada kedalaman ke bangku, dan kemiringan lereng desain baik dalam nilai kemiringan, 1:m, persentase atau sudut.



Gambar 3.12 Desain tambang terbuka

Pada Gambar 3.12, sudut lereng lereng, sudut lereng antar-ramp yang dihasilkan, dan sudut lereng keseluruhan akhir sangat berbeda.

Lebar tanggul berkaitan dengan keselamatan dinding tambang dan dirancang untuk menahan jatuhnya batu yang berbahaya, mencegah tumpahan material ke tingkat yang lebih rendah, menyediakan akses ke dinding lereng dan akses ke titik survei dan pemantauan stabilitas. Setelah peledakan bangku dimulai, tanggul dapat dimasukkan setiap 10 hingga 20 meter, tergantung pada stabilitas material. Ketinggian tanggul 30m dapat diterima dalam formasi stabil yang masif.

Lebar ramp ditentukan oleh persyaratan lalu lintas. Truk pengangkut, ekskavator, dan mesin besar harus memiliki akses ke pekerjaan tambang. Lebar ramp juga akan menggabungkan beberapa fungsi tanggul. Kemiringan dan perutean ramp merupakan area desain spesialis. Lebar jalan akan bergantung pada lebar kendaraan terbesar yang menggunakan jalan tersebut. Apakah jalan tersebut satu atau dua lajur, lurus atau melengkung? Jalan dua lajur yang melengkung untuk truk off-road berukuran sedang akan menyertakan kelonggaran untuk bagian yang menjorok ke luar kendaraan dan faktor perluasan lebar pada lebar truk. Praktik standar adalah menambahkan kelonggaran untuk jalur angin di kedua sisi untuk memungkinkan pemeliharaan jalan juga.

Jadi, truk off-highway berukuran sedang, berkapasitas 100t kemungkinan akan memiliki lebar 6,9m. Faktor lebar 20% dan jarak jalan ganda akan membutuhkan lebar jalan hampir 30m, ditambah jalur angin 10m.

Truk muatan terbesar, +300t, memiliki lebar sekitar 10m dan akan membutuhkan lebar total lebih dari 50m. Kemiringan maksimum di dalam tambang sekitar 10%, memiliki kemiringan 1:10 yaitu sekitar $5,7^\circ$.

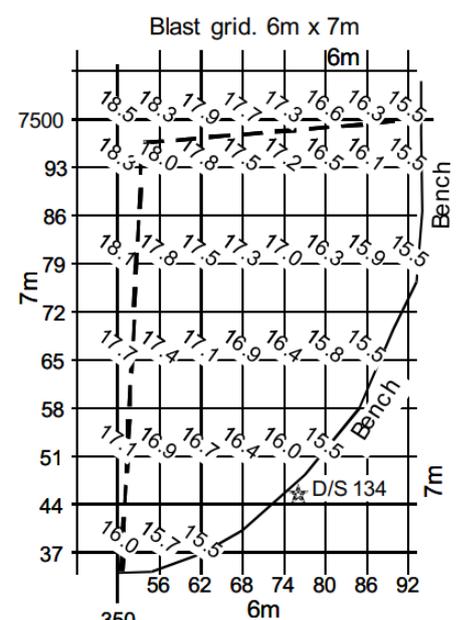
Hitung Luas Penampang Lintang untuk Volume: Penambangan

Area survei Praktik Lapangan memiliki ukuran terbatas. Namun, hal ini memungkinkan pengumpulan data, yang dapat menunjukkan prinsip-prinsip perhitungan yang digunakan dalam rekayasa dan pertambangan.

Dalam Praktik Lapangan 2, permukaan tanah ditentukan dengan menggunakan persimpangan grid yang mewakili lapangan pengeboran dan peledakan. Biasanya peledakan dilakukan pada grid berukuran 6m x 7m.

Data yang dikumpulkan dapat membentuk penampang melintang, yang titik acuannya ditentukan oleh level bangku.

Batas puncak yang ditetapkan untuk penggalian adalah garis grid 350E dan garis grid 7500N (Gambar 3.13). Dari pemesanan lapangan, penampang melintang untuk bagian-bagian yang dinominasikan dapat dibuat.



Gambar 3.13 Ketinggian tanah dan perkiraan posisi kaki pemukul pada ketinggian bangku.

Gambar 3.13 menunjukkan penampang melintang alternatif dan ujung kaki yang disimpulkan dari adonan untuk kemiringan 1:1,25 (39°) dari puncak ke level bangku 15,5m.

Tugasnya adalah menghitung volume yang dibatasi oleh permukaan, kemiringan adonan, dan bangku. Ingat, kisi peledakan berada pada pola 6m x 7m.

Membuat Penampang

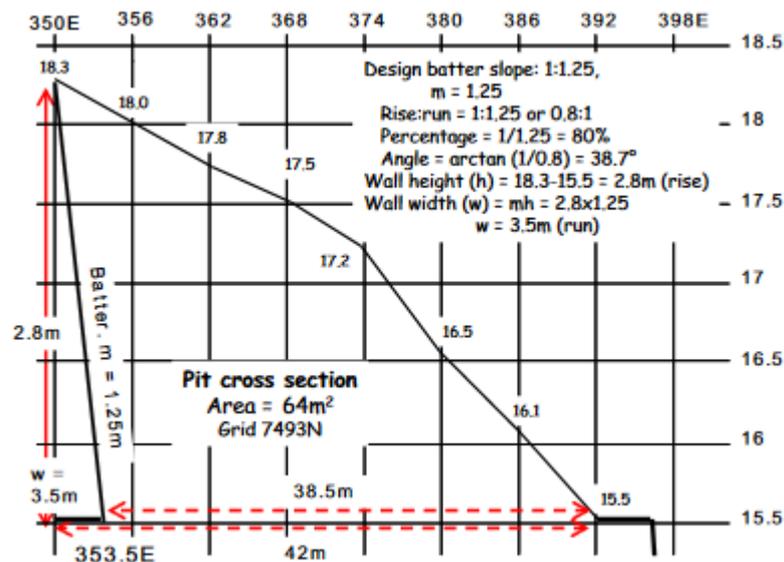
Lintang Mengambil penampang 7493N (Gambar 3.14). Batas puncak ditetapkan pada 350E.

RL adalah 18,3 m

Tinggi ke bangku adalah 2,8 m, ujung pemukul terletak pada 353,5E. RL tanah memberikan ordinat Y dan nilai E kisi memberikan ordinat X.

Perhatikan pembesaran vertikal dan datum offset untuk tinggi. Skala horizontal 1:250 akan membuat sumbu X (45 m) memiliki lebar maksimum 180 mm pada 7493N.

Skala vertikal 1:50 dan tinggi 3m akan memerlukan sumbu vertikal 60 mm



Gambar 3.14 Penampang kisi 7493N.

Luas dengan Determinan Matriks

Dengan menggunakan metode determinan matriks di Bagian 3.4, luas bagian 7493N dihitung sebesar 64 m^2 . Daripada menggunakan koordinat "mentah" untuk matriks, mungkin lebih mudah menggunakan offset yang diterjemahkan, yaitu,

$$350, 18,3 \leftrightarrow 0, 2,8$$

$$356, 18,0 \leftrightarrow 6, 2,5.$$

$$362, 17,8 \leftrightarrow 12, 2,3$$

dst. (lihat dE dan h di Tabel 3-2), hanya pergeseran datum.

Tabel 3-2 menunjukkan proses menghasilkan hasil yang sama untuk koordinat aktual dan koordinat yang digeser.

Tabel 3.2 Luas berdasarkan perkalian matriks.

E	RL	+ve	-ve	dE	h	+ve	-ve
350	18.3		6515	0	2.8		17
356	18	6300	6516	6	2.5	0	30
362	17.8	6337	6550	12	2.3	14	41
368	17.5	6335	6545	18	2	24	48
374	17.2	6330	6536	24	1.7	30	51
380	16.5	6171	6369	30	1	24	36
386	16.1	6118	6311	36	0.6	18	25
392	15.5	5983	5479	42	0	0	0
353.5	15.5	6076	5425	3.5	0	0	0
350	18.3	6469		0	2.8	10	
		56119	56246		Sums	120	248
	Half difference = 64				Half difference = 64		

Sekali lagi, perhatikan eksagerasi vertikal dan datum offset untuk ketinggian. Skala horizontal 1:250 akan membuat sumbu X (35 m) Anda memiliki lebar maksimum 140 mm pada 7451N.

Skala vertikal 1:50 dan tinggi 2 m akan memerlukan sumbu vertikal 40 mm. Demikian pula, pada bagian 7451N, profil yang diamati menyediakan luas bagian 27 m².

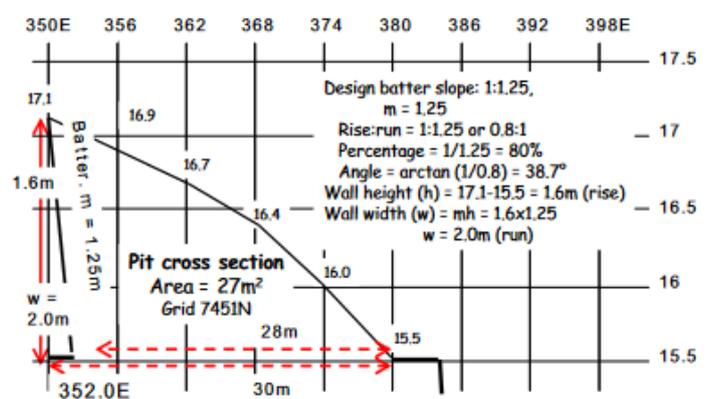
Dengan mengambil bagian 7451N (Gambar 3.15) dan batas puncak yang ditetapkan pada 350E, RL adalah 17,1 m.

Tinggi ke bangku adalah 1,6 m, ujung pemukul terletak pada 352E. RL tanah menyediakan ordinat Y dan nilai E grid menyediakan ordinat X.

Dengan mengambil garis bagian E/W, luas penampang berikut telah dihitung: menggunakan luas ujung rata-rata, volume antara setiap pasangan garis grid dihitung dan dijumlahkan dalam Tabel 3-3. Ingat, jarak grid adalah 7m dari selatan ke 7500N, tabel telah disingkat dengan menggunakan setiap garis grid kedua di bawah 7493N. Level grid silang diambil setiap 6m dari 350E ke arah timur.

Lereng Pemukul pada 7500N

Volume yang dihitung sejauh ini memperhitungkan pemukul pada garis puncak 350E. Ada juga lereng pemukul yang menjorok ke galian dari bagian 7500N (Gambar 3.16). Sekarang kita membuat kelonggaran untuk volume material yang ditinggalkan oleh pemukul yang terkait dengan galian dari bangku ke puncak garis grid 7500N.

**Gambar 3.15** Penampang kisi 7451N.

Bagaimana dengan pemukul ke garis puncak 7500N?

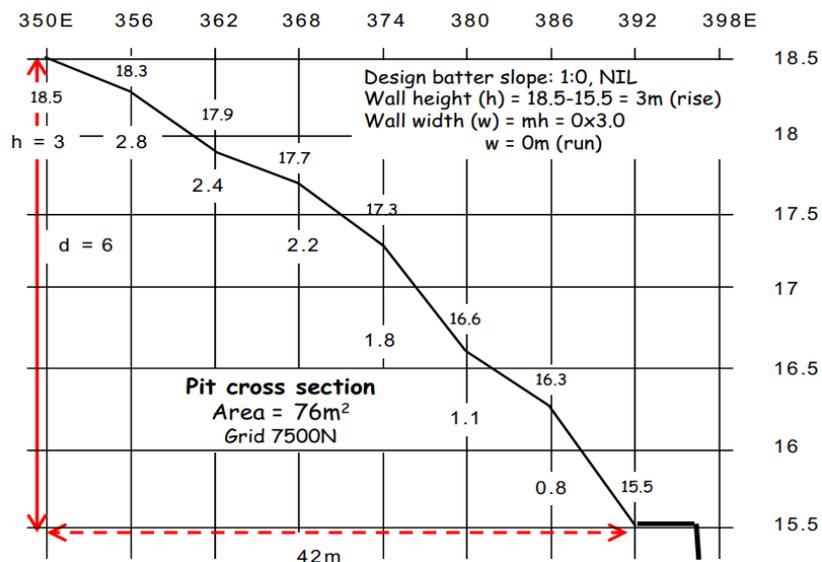
Tabel 3-3 Luas dan volume.

Grid	Area	Grid Spacing	Vol
7500	70		
		7	470
7493	64		
		14	840
7479	56		
		14	672
7465	40		
		14	469
7451	27		
		14	210
7437	3		
	Jumlah Volume		2661

Bagaimana kita dapat memperkirakan volume material yang tertinggal di belakang tumpukan batu ke bangku?

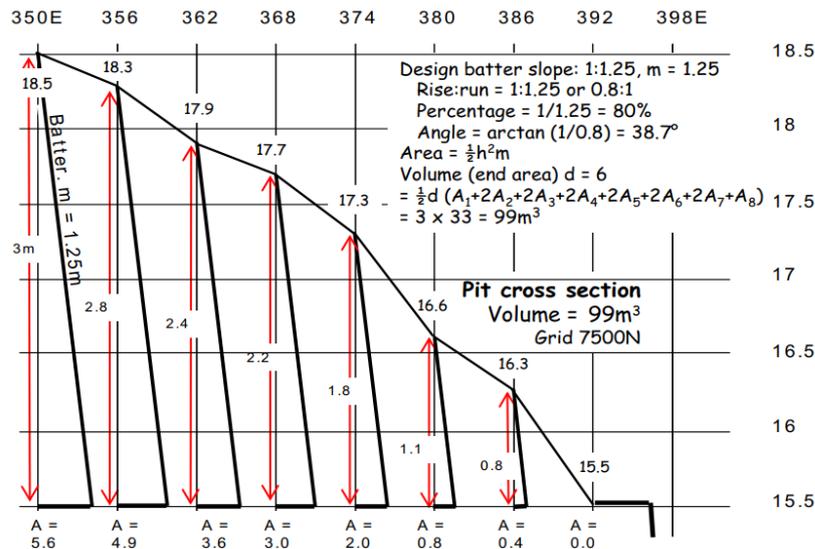
Salah satu cara adalah dengan menghitung luas setiap segitiga di setiap penampang antara 350E dan 398E, tempat bangku tersebut terbuka.

Perhitungan buku lapangan Anda akan memberikan perbedaan ketinggian, h , di setiap kisi E. Karena kita mengetahui kemiringan tumpukan batu, m , dan, dengan menggunakan contoh tumpukan stok, luas segitiga adalah $\frac{1}{2}h^2m$. Nilai yang dihitung untuk luas kisi dan volume ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.16 Potongan melintang kisi 7500N.

Luas menurut trapesium



Gambar 3.17 kisi 7500N.

Potongan melintang adonan

Volume tumpukan batu sekitar 99 m³, ditunjukkan pada Gambar 3.17. Mengurangi nilai ini dari Tabel 3-3 menghasilkan volume galian:

$$2661 - 99 = 2562 \text{ m}^3.$$

Perhatikan bahwa nilai ini adalah volume in-situ. Material yang akan digali akan mengalami faktor bulking, atau "swelling", untuk pengangkutan. Tumpukan batu dalam contoh kita didasarkan pada material batuan yang stabil. Nilai umum faktor bulking untuk "batuan" adalah antara 40% dan 80%. Jadi, 2.600 m³ dapat bertambah menjadi sekitar 4.000 m³, tergantung pada upaya peledakan Anda.

Gambar 3.17 menunjukkan batas dari rantai galian ke puncak garis kisi 7500N. Luas setiap segitiga ditunjukkan pada sumbu X. Perhitungan sebelumnya menunjukkan bahwa perhitungan volume galian tidaklah terlalu sulit. Contoh ini tidak dirancang untuk menggantikan metode yang disajikan dalam unit teknik pertambangan formal lainnya.

Luas Penampang Lintang dengan Trapesium

Pendekatan alternatif untuk menghitung luas adalah dengan memperoleh luas setiap trapesium yang terbentuk di antara garis kisi yang berdekatan.

Pada penampang melintang 7493N, Gambar 3.14, dapat dilihat bahwa setiap pasangan kisi E membentuk trapesium. Setiap garis kisi E memiliki kedalaman terkait ke bangku, h , yang dihitung dengan mengurangi tingkat bangku (15,5m) dari permukaan tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14.

$$h_{350} = 18.3 - 15.5 = 2.8;$$

$$h_{356} = 18.0 - 15.5 = 2.5;$$

$$h_{362} = 2.3; h_{368} = 2.0; h_{374} = 1.7; h_{380} = 1.0; h_{386} = 0.6; h_{392} = 0;$$

Luas trapesium = $Area = \frac{1}{2}d(h_n + h_{n+1})$ di mana d merupakan jarak kolom (6m pada kisi ini).

$$A = 3(2.8 + 2.5) + 3(2.5 + 2.3) + 3(2.3 + 2.0) + 3(2.0 + 1.7) + 3(1.0 + 0.6) + 3(0.6 + 0) = 69m^2$$

Memasukkan balok-balok memerlukan pengurangan $\frac{1}{2}h^2m$ dari setiap luas penampang.

$$A = \frac{1}{2}h^2m = \frac{1}{2}2.8^2 \cdot 1.25 = 4.84 \cdot 1.25$$

$$\text{Luas balok} = 4,9$$

Luas penampang = $69 - 4,9 = 64 m^2$, sesuai dengan luas yang dihitung pada Gambar 3.14.

Sekali lagi, volume dihitung dengan metode luas ujung pada Bagian 3.4.7 untuk semua penampang.

Volume Blok

Pendekatan lain untuk menghitung volume adalah menghitung volume setiap blok yang terbentuk di antara denah kisi yang berdekatan. Pendekatan ini adalah menemukan volume blok dengan menghitung tinggi rata-rata (kedalaman) setiap area kisi, dikalikan dengan luas itu sendiri.

Volume blok dihitung berdasarkan kedalaman kisi. Mengambil blok 1 – 4, 8, 9, 15, 16 pada Gambar 3.18. Mengambil bagian dari area untuk perhitungan volume: Blok volume = kedalaman rata-rata x area

$$V = \Sigma (\text{simpul})/4 \times A \text{ atau } \Sigma (\text{simpul}) \times A/4$$

$$V_1 = (3 + 2,8 + 2,5 + 2,8) \times (6 \times 7)/4 = 11,1 \times 10,5 = 116,6, \text{ demikian pula}$$

$$V_2 = (2,8 + 2,4 + 2,3 + 2,5) \times 10,5 = 105,0,$$

$$V_3 = (2,4 + 2,2 + 2,0 + 2,3) \times 10,5 = 93,4$$

$$V_4 = (2,2 + 1,8 + 1,7 + 2,0) \times 10,5 = 80,8$$

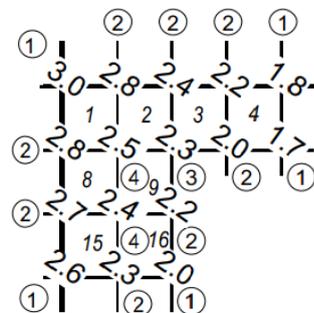
$$V_8 = (2,8 + 2,5 + 2,4 + 2,7) \times 10,5 = 109,0$$

$$V_9 = (2,5 + 2,3 + 2,2 + 2,4) \times 10,5 = 98,7$$

$$V_{15} = (2,7 + 2,4 + 2,3 + 2,6) \times 10,5 = 105,0$$

$$V_{16} = (2,4 + 2,2 + 2,0 + 2,3) \times 10,5 = 93,4$$

$$\text{Total volume} = 802,2 m^3.$$



Gambar 3.18 Volume blok

Dapat dilihat bahwa sejumlah kedalaman telah digunakan berulang kali untuk setiap blok. Seperti halnya metode luas ujung untuk menghitung volume, maka suatu metode dapat diartikulasikan untuk menghitung volume blok.

$$\text{Volume} = (\text{area grid tunggal})/4 \times \{(\Sigma \text{ kedalaman digunakan satu kali}) + 2(\Sigma \text{ kedalaman digunakan dua kali}) + 3(\Sigma \text{ kedalaman digunakan tiga kali}) + 4(\Sigma \text{ kedalaman digunakan empat kali})\} + \Sigma V.1$$

Gambar 3.19 mencatat berapa kali setiap kedalaman digunakan.

$$V = 42/4 \times \{(3,0+1,8+1,7+2,0+2,6) + 2(2,8+2,4+2,2+2,0+2,2+2,3+2,7 + 2,8) + 3(2,3) + 4(2,5+2,4)\} = 10,5 \times (11,1 + 2 \times 19,4 + 3 \times 2,3 + 4 \times 4,9)$$

$$= 10,5 \times (11,1 + 38,8 + 6,9 + 19,6)$$

$$= 10,5 \times 76,4 = 802,2 \text{ m}^3.$$

Rumus tersebut mencakup nilai $+\Sigma V$, semua bagian kecil volume tambahan di luar seluruh blok.

Apakah itu penting?

Dengan pemeriksaan, blok 52, dekat D/S 134 (Gambar 3.19), tampaknya memiliki $h = 0,5$ tertinggi di satu sudut.

$$V_{52} = (0,5 + 0 + 0 + 0) \times 10,5 = 5 \text{ m}^3.$$

V_{55} akan dianggap sebagai satu blok utuh karena sebagian besar berada di dalam batas.

$V_{56} =$ Mungkin $1,5 \text{ m}^3$. Semuanya akan tampak tidak penting dan totalnya kurang dari 10 m^3 . Apakah itu penting?

Nilai Volume Blok

Volume blok penuh, lebih dari 56 blok (Gambar 3.19), dihitung menjadi 2853 m^3

Volume Piramida untuk Pemukul

Bagaimana dengan volume lereng pemukul 39° , $m = 1,25$ (Gambar 3.13)?

Luas segitiga, $a = \frac{1}{2} h^2 m$ (atau $\frac{1}{2} h b$)

Volume Limas, $V_p = \frac{1}{3} a h$

Jadi, volume balok untuk setiap balok dari kiri atas, 350E, 7500N, di sepanjang setiap dinding, dapat dianggap sebagai **limas**. Dengan pemeriksaan, di sudut atas balok 1 (Gambar 3.19), $h = 3$, jadi ujung, b (lebar), adalah, katakanlah 4, dari puncak. Luas = $\frac{1}{2} (3 \times 4)$. $a = 6$. Ini adalah luas alas limas. Dengan asumsi gradien lurus dari puncak ke ujung sepanjang garis kisi

Panjang kisi 350E = $7500 - 7437 = h = 63$. $V_{350E} = \frac{1}{3} (6 \times 63) = 126 \text{ m}^3$

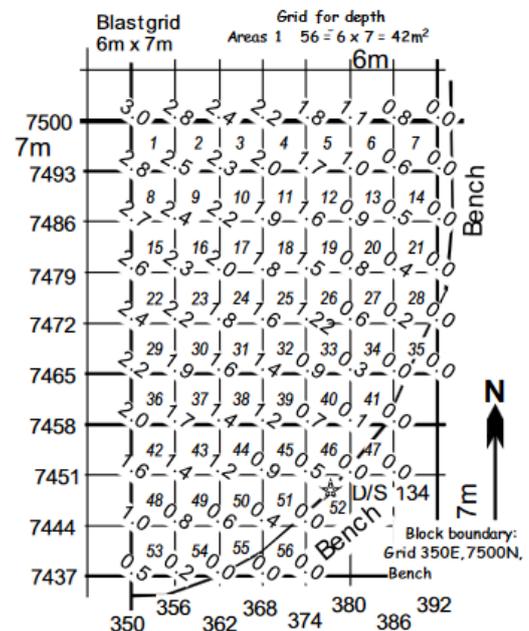
Panjang kisi 7500N = $350 - 392 = h = 42$. $V_{7500N} = \frac{1}{3} (6 \times 42) = 84 \text{ m}^3$.

Volume galian, dengan memperhitungkan kemiringan lereng, = $2853 - 126 - 84 = 2643 \text{ m}^3$

Bagaimana perkiraan garis gradien ini dibandingkan dengan volume lereng yang dihitung dari masing-masing penampang melintang?

Bandingkan volume gradien garis lurus dengan volume yang terkait dengan tinggi titik penampang melintang.

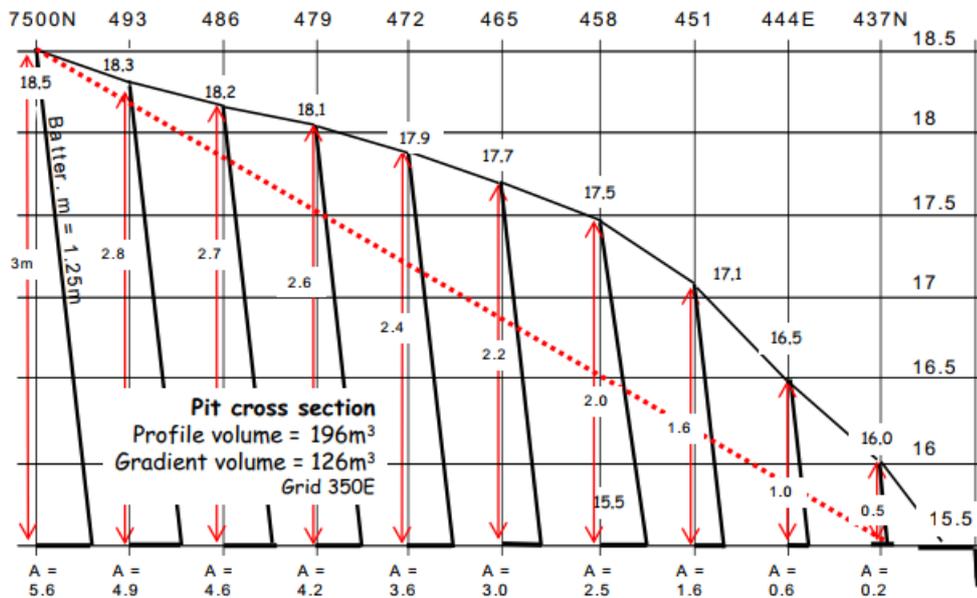
Gambar 3.20 menunjukkan volume adonan sepanjang kisi 350E dari 7500N hingga 7437N. Volume profil ini dihitung sebesar 196 m^3 dibandingkan dengan



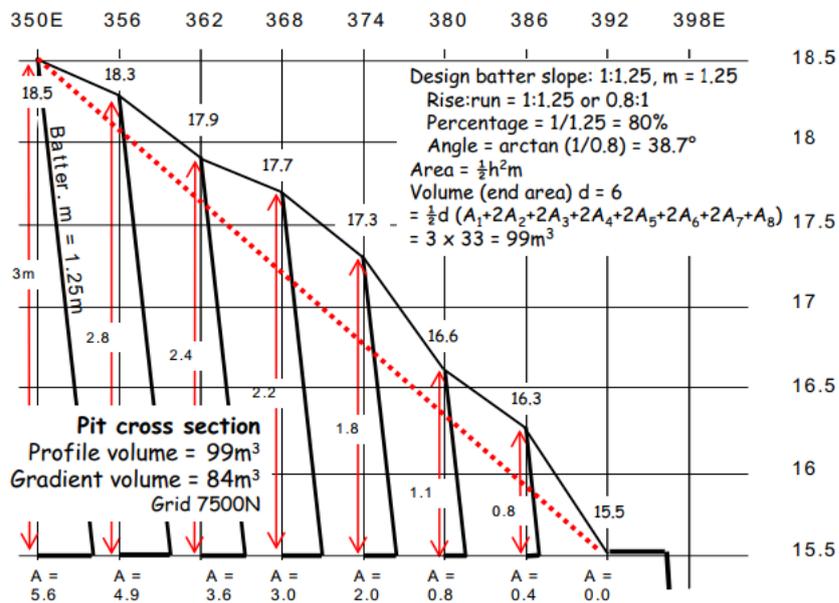
Gambar 3.19 Sel volume blok yang diberi anotasi.

nilai gradien lurus sebesar 126 m³, yaitu 70 m³ lebih banyak karena perbedaan antara profil dan gradien lurus.

Demikian pula, Gambar 3.21 menunjukkan perbedaan hanya 15 m³ sepanjang kisi 7500N antara 350E dan 398E karena profil dan gradien lebih mirip.



Gambar 3.20 Volume adonan berdasarkan gradien, 350E.



Gambar 3.21 Volume adonan menurut gradien, 7500N

Perbedaan volume adonan antara kedua metode tersebut adalah 85m³. Volume galian menggunakan area ujung, yang memperhitungkan profil tanah adonan adalah 2562m³. Lihat Bagian 3.9 dan Tabel 3-3. Volume yang dihitung berdasarkan volume blok dan adonan gradien

adalah 2643m³. Pengurangan 85m³ lebih lanjut menghasilkan volume galian sebesar 2558m³, yang sesuai dengan 2562m³.

Volume dengan Kontur

Pendekatan lain untuk memperoleh volume adalah menghitung luas setiap kontur yang terbentuk antara batas dan garis kontur. Volume kemudian dihitung dengan metode luas ujung, jaraknya adalah interval kontur.

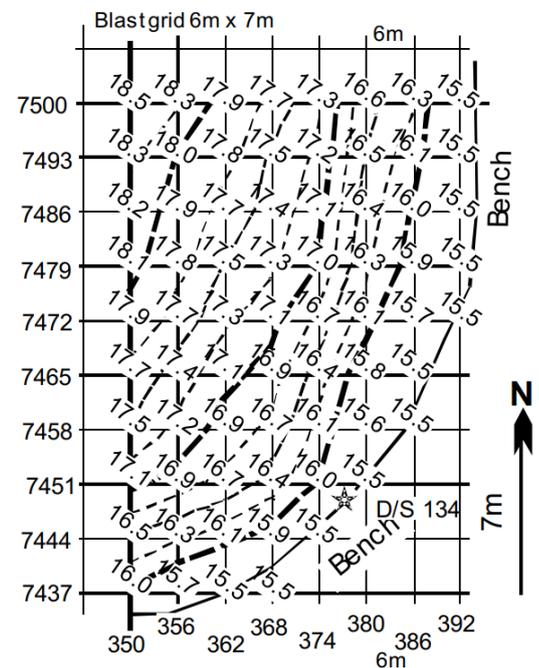
Sebelumnya Gambar 3.13 menunjukkan tinggi grid. Grid sekarang dapat dikontur, sebuah metode yang dapat digambar dengan tangan melalui inspeksi dan estimasi posisi garis kontur. Sebagai alternatif, kontur dihitung dan diplot menggunakan GIS dan program pemetaan. Mereka juga merupakan sumber pengembangan algoritma yang populer oleh programmer komputer.

Gambar 3.22 menunjukkan kontur yang dihasilkan dengan menghitung nilai kontur pada intersep grid linier yang sesuai.

Sebelum pemetaan terkomputerisasi, area ditentukan menggunakan integrator mekanis yang disebut **planimeter**.

Pendekatan yang tersedia bagi programmer adalah menggunakan area dengan perkalian silang matriks, pasangan koordinat adalah intersep grid E dan N yang digunakan untuk memplot kontur. Area antara batas dan kontur 18m adalah sekitar 120 m².

Gambar 3.25 adalah gambar yang lebih besar dari Gambar 3.22 dan dapat digunakan sebagai latihan dalam pemetaan kontur dan ekstraksi data seperti yang dijelaskan di bawah ini.



Gambar 3.22 Volume menurut kontur.

Meskipun sulit untuk dipilih, koordinat untuk batas kontur 18m adalah:

350, 7476; 352, 7479; 356, 7493;

361, 7500; 350, 7500; 350, 7476.

Perhatikan bahwa angka tersebut kembali mendekati titik awal di 350, 7476.

Melanjutkan perhitungan luas kontur, nilai luas berikut diperoleh:

RL 18.5; 0, RL 18.0; 117, RL 17.5; 490, RL 17.0; 928,

RL 16.5; 1319, RL 16.0; 1758, RL 15.5; 2295.

Volume menurut luas ujung = $d/2(a_1 + A_n + 2(A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1}))$

dimana **d** adalah interval kontur 0,5m

$$V = \frac{1}{2} (0.5) \times (0 + 2295 + 2(117 + 490 + 928 + 1319 + 1758)) = 0.25 \times (2295 + 2 \times 4609)$$

$$= 0.25 \times (2295 + 9218)$$

$$V = 0.25 \times 11513 = 2878\text{m}^3.$$

Perhatikan kesesuaian yang relatif baik dalam volume menggunakan tiga metode: volume adonan telah dikecualikan dari perhitungan.

- Area ujung = 2857, dihitung ulang tanpa adonan.
- Blok = 2853,
- Kontur = 2878.

Data Kisi yang Hilang

Kadang-kadang titik kisi mungkin terlewat, baik karena tidak dapat diamati atau tidak sengaja. Apa yang harus dilakukan?

Jika data hilang di dalam blok level, mungkin sebaiknya dilakukan interpolasi nilai yang hilang. Ini akan melibatkan penilaian variasi kemiringan di sekitar titik data. Secara umum, interpolasi linier adalah estimasi terbaik.

Interpolasi linier dapat digunakan untuk menghitung nilai E dan N kontur pada kisi peledakan. Misalkan kita kehilangan level pada 356E, 7493N (lihat Gambar 3.23) dengan melakukan interpolasi pada 7493 antara 350 dan 362 (18,3 – 17,9) - menghasilkan 18,05

dengan melakukan interpolasi pada 356 antara 7500 dan 7483 (18,3 – 17,8)

dengan melakukan interpolasi diagonal (18,5 – 17,7) menghasilkan 18,1

dengan melakukan interpolasi diagonal (18,2 – 17,9) menghasilkan 18,05.

Nilai 18,0 atau 18,1 tampaknya masuk akal, dan tidak akan membuat perbedaan signifikan pada perhitungan.

Meskipun demikian, interpolasi bikubik adalah alat yang ampuh, tetapi tidak dipertimbangkan di sini. Untuk melakukan interpolasi titik dalam persegi, kita memerlukan array yang terdiri dari 16 titik, dan memperoleh kemiringan, untuk mendapatkan jawaban yang "lebih baik". Hal ini mungkin berlaku untuk bidang data yang relatif homogen, tetapi kebutuhan sederhana kita tidak membenarkannya. Surpac dan paket penambangan dan GIS lainnya menggunakan hal ini, dan banyak lagi rutinitas yang lebih terspesialisasi seperti algoritma Lerchs-Grossman juga, dalam pembuatan estimasi tubuh bijih.

Serupa dengan itu, data yang hilang yang berdekatan, tetapi di luar, bidang data dapat ditentukan dengan ekstrapolasi linier dari nilai-nilai sebelumnya.

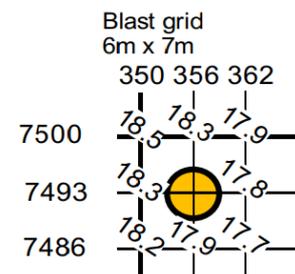
Kita kehilangan level pada 350E, 7500N (Gambar 3.24). Ekstrapolasi:

pada 7500 dari 362 ke 350 (17,9 – 18,3) menghasilkan 18,7

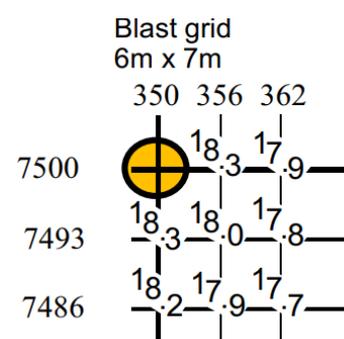
pada 350 dari 7486 ke 7493 (18,2 – 18,3) menghasilkan 18,4

secara diagonal (17,7 – 18,0) menghasilkan 18,3

Artinya, 3 nilai menghasilkan nilai sekitar 18,5



Gambar 3.23 Data yang hilang.



Gambar 3.24 Data yang diekstrapolasi

Metode akan membantu menghasilkan satu set lengkap nilai grid dari beberapa titik yang terlewat. Coba hitung salah satu garis grid yang hilang dari sesi praktik Anda. Periksa hasil Anda dengan data yang dikumpulkan oleh anggota kelas Anda yang lain.

Berbeda? Namun, apa bedanya dalam skema keseluruhan.

Jangan perluas ekstrapolasi Anda di luar batas data Anda. Tentu saja, tidak lebih dari satu interval grid.

Nilai yang dihitung tidak boleh terlalu jauh dari nilai sebenarnya (yang hilang) dan tidak boleh menyebabkan kesalahan serius dalam luas atau volume. Perhitungan Anda harus dibuat dari estimasi yang dapat dipertanggungjawabkan yang didukung oleh data yang diamati.

Secara umum, saat menggambar profil atau rencana dari data yang diukur, Anda hanya dapat menghubungkan titik-titik dengan garis. Jangan tergoda untuk "mempercantik" gambar dengan menggunakan kurva atau splines agar terlihat "bagus". Umumnya, kurva yang cantik kurang benar daripada garis lurus karena tidak ada artefak tambahan yang dapat mendistorsi data.

Area (Gambar 3.25) direproduksi di bawah ini untuk memungkinkan Anda memplot kontur di atas area tersebut. Interval kontur 0,5 m sudah cukup.

Volume Timbunan

Sudut istirahat untuk tumpukan stok bebas.

Material untuk transportasi disimpan dalam tumpukan stok. Setiap material yang berdiri bebas dan mengalir bebas akan menunjukkan kecenderungan untuk membentuk tumpukan di mana kemiringan material yang berdiri bebas sering disebut sudut istirahat.

Sebagian besar material tambang yang berdiri bebas tampaknya stabil pada sekitar:

25°, granit dan terak tanur tinggi

35°; bijih besi, batu bara, pasir dan kerikil.

40°, bijih mangan

Sudut-sudut ini mewakili kemiringan berikut (1:m) dan persentase kemiringan.

40° = 1:1,2, 84%

35° = 1:1,4, 70%

25° = 1:2,1, 47%

Jika tinggi, h , dan panjang puncak, l , dari tumpukan yang tidak dibatasi diketahui maka perkiraan volume dapat diperoleh.

Penampang melintang area ujung segitiga = $(h \times m) \times h = h^2 m$. Di mana m adalah kemiringan. Volume kerucut $V = \pi r^2 \frac{h}{3}$

Volume adalah luas penampang x panjang puncak + volume kerucut (setengah di setiap ujung.) Gambar 3.26 menunjukkan tumpukan bijih besi,

sudut kemiringan 35°, $m = 1,4$

Panjang puncak, $l = 50\text{m}$; tinggi, $h = 25\text{m}$,

luas ujung = $h^2 m = 25^2 \times 1,4 = 875\text{m}^2$, Panjang = 50,

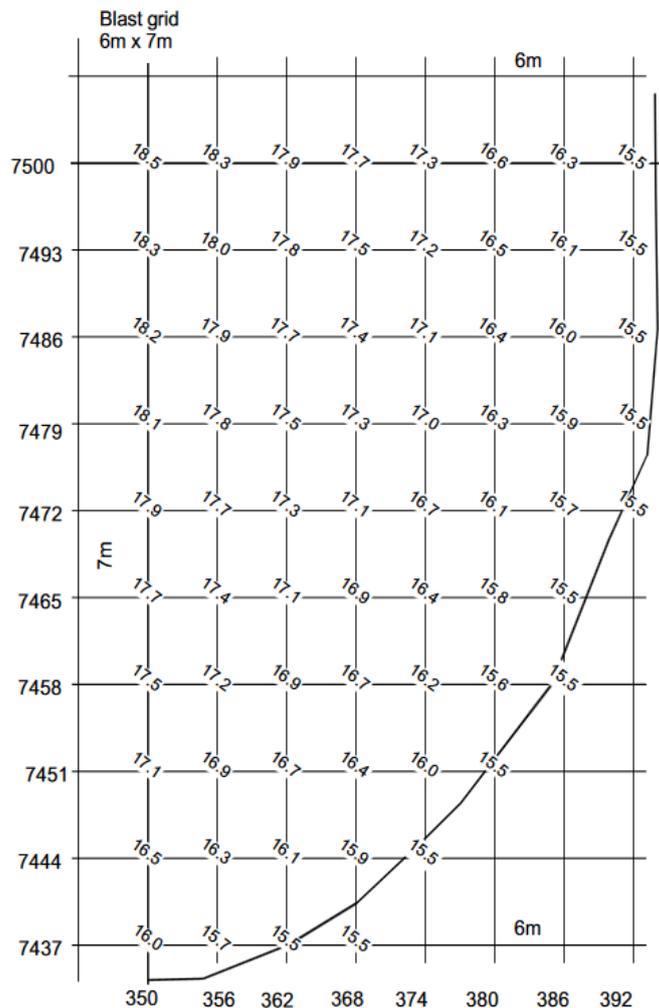
Volume badan = $l \times A = 50 \times 875 = 43.750 \text{ m}^3$.

Volume kerucut, $r = m h = 35$.

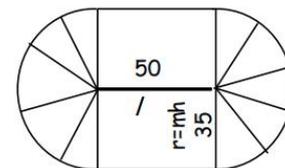
$V = 3,14 \times 35^2 \times 25/3 = 32.070\text{m}^3$.

Volume total = 75.820 m³.

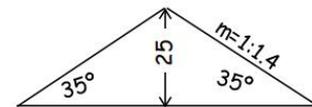
Tumpukan tersebut berukuran panjang 120m, lebar 70m, dan tinggi 25m.



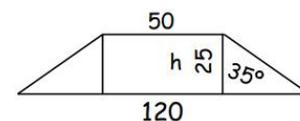
Gambar 3.25 Latihan kontur.



(a) Unrestrained stockpile.



(b) Stockpile end elevation.



(c) Stockpile side elevation.

Gambar 3.26 Volume stok.

Ringkasan

Bab ini menyajikan penerapan langsung elevasi (ketinggian) yang dibahas dalam Bab 2. Dengan menggunakan ketinggian, kita telah melihat bagaimana profil fitur linear seperti jalan, saluran pembuangan limbah, dan saluran air hujan dapat diperoleh. Hal ini menjadi penting bagi insinyur sipil yang harus menggunakan pengetahuan tentang penampang vertikal (penampang memanjang dan melintang) untuk menghitung pekerjaan tanah (pemotongan dan penimbunan) selama perancangan fitur mereka. Bagi mereka yang bekerja di pertambangan, menghitung volume tumpukan selain merancang Landai dan Tanggul adalah rutinitas harian yang akan membutuhkan pengetahuan tentang penghitungan volume yang dipelajari dalam Bab ini. Misalnya, dalam merancang Box Cut pada gradien kemiringan tertentu, seseorang perlu mengetahui cara memperoleh ketinggian dan area yang keduanya mengarah pada volume ledakan yang harus dihilangkan. Bab ini telah menyajikan beberapa metode yang memetakan area tertentu tempat ketinggian diperoleh sehubungan dengan bangku tertentu. Ini tentunya merupakan bab yang ingin Anda kunjungi lebih sering.

BAB 4

TOTAL STATION PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN

4.1 PENDAHULUAN

Bab ini memperkenalkan Anda pada instrumen Total Station yang digunakan untuk mengukur sudut dan jarak yang diperlukan untuk menghasilkan koordinat planar dari metode lintasan yang dibahas dalam bab berikutnya. Setelah Anda menyelesaikan bab ini, pembaca dapat:

- Mengetahui instrumen Total Station dan bagian-bagiannya.
- Mampu mengatur dan mengoperasikan instrumen.
- Mampu mencatat (mencatat) pengukuran sudut dan jarak dengan cara yang dapat dipahami oleh profesional lain.
- Memahami kesalahan yang terkait dengan pengoperasian Total Station.

Bahaya utama saat menggunakan laser adalah pada mata, yaitu retina yang terkait dengan laser dalam spektrum tampak dan inframerah dekat. Lensa mata akan memfokuskan sinar laser ke retina mata yang menyebabkan luka bakar mikroskopis atau lepuh terbentuk. Hal ini dapat menyebabkan kebutaan sementara atau permanen. Aturan keselamatan laser mencakup tanggung jawab operator berikut:

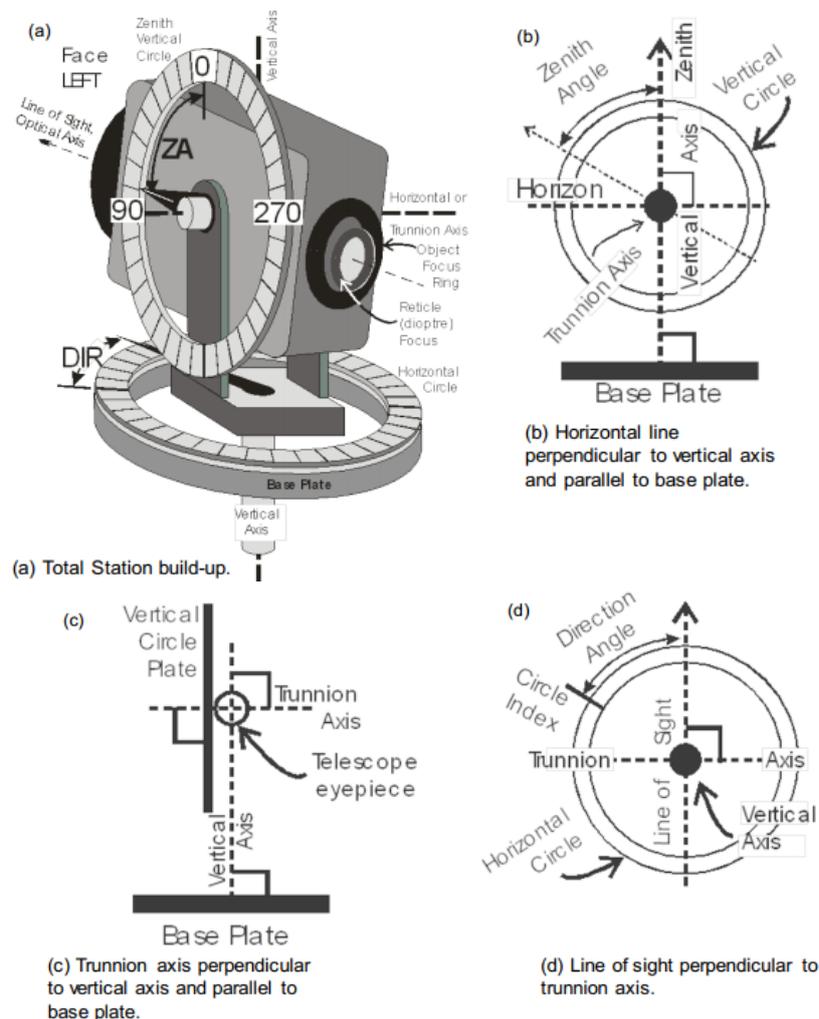
- Jangan arahkan sinar laser ke orang lain. Jika sinar laser mengenai mata, dapat menyebabkan cedera serius.
- Jangan menatap langsung ke sinar laser – dapat menyebabkan cedera mata serius.
- Jangan melihat sinar laser melalui teleskop, teropong, atau instrumen optik lainnya.
- Bidik target sehingga sinar laser yang dipantulkan tidak menyimpang dari jalur pengamatan kerja.

4.2 INSTRUMENTASI DAN PENGOPERASIAN

Total Station

- Teleskop (lihat Gambar 4.1a yang berisi garis pandang): perbesaran 30x atau 40x; pendek sehingga dapat dicelupkan.
- Lingkaran encoder kaca bertingkat dideteksi untuk perpindahan sudut horizontal dan vertikal.
- Penjepit lingkaran dan sekrup gerak lambat tangen memungkinkan rotasi halus ke target setelah arah dijepit.
- Posisi "normal" lingkaran vertikal berada di sebelah kiri (Wajah Kiri, FL) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1a. Beberapa instrumen ditandai sebagai Wajah I.
- Saat lingkup dicelupkan, lingkaran vertikal berada di sebelah kanan (Wajah Kanan, FR atau Wajah II).

- Sebuah plummet optik di tribrach atau teodolit itu sendiri memungkinkan pemusatan yang tepat di atas suatu titik.



Gambar 4.1 Diagram Susunan Total Station

- Gelembung melingkar di tribrach memungkinkan perataan kasar dengan kaki tripod. Kepala penyeimbang terdiri dari sekrop 3 kaki yang digunakan untuk meratakan instrumen secara tepat.
- Pada instrumen elektronik, gelembung penyeimbang mungkin berada di dalam dan hanya terlihat pada layar LCD.
- EDM dapat dipasang di atas teleskop (untuk instrumen lama) atau berada di dalam instrumen dan mengukur pada sumbu kolimasi (pada instrumen modern).
- Perangkat perekaman data elektronik dapat dihubungkan secara eksternal atau di dalam instrumen.
- Hubungan penting antara sumbu:
 - a. Sumbu horizontal atau trunnion harus tegak lurus terhadap sumbu vertikal,
 - b. Sumbu kolimasi harus tegak lurus terhadap sumbu Trunnion,

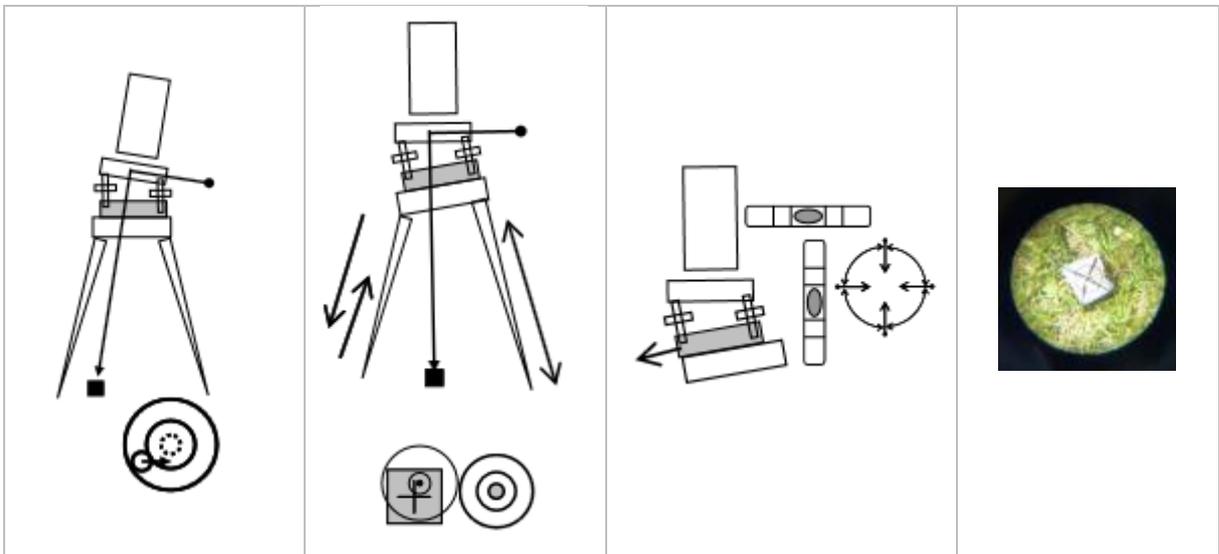
- c. Sumbu tegak atau vertikal harus tegak lurus terhadap bidang yang memuat lingkaran horizontal,
- d. Sumbu kolimasi harus memotong sumbu trunnion.

Menetapkan Titik Menggunakan Pengukur Titik Optik atau Laser

Memusatkan titik kontrol secara akurat membantu menghilangkan kesalahan acak yang besar dalam pengamatan Anda. Ini berlaku untuk Stasiun Total, level, set prisma, pemindai laser, dan penerima GNSS. Metode yang diuraikan di bawah ini tidak memerlukan penggunaan pengukur titik tegak lurus, namun seseorang harus dapat menempatkan kepala tripod dengan cukup tepat di atas titik untuk memulai.

1. Rentangkan kaki tripod hingga setinggi dada dan jepit kaki tripod.
2. Berdirilah di atas titik tripod dan julurkan satu kaki sekitar satu langkah di depan Anda, jaga agar kepala tripod tetap horizontal, buat langkah pendek ke belakang dan julurkan kaki tripod dengan jarak yang sama sehingga tripod diatur sebagai segitiga sama sisi kira-kira di atas titik tripod dengan kepala sejajar. Letakkan kaki tripod dengan kuat di permukaan tanah.
3. Pastikan penjepit tripod terpasang dengan kencang. Pasang instrumen pada tripod, di tengah kepala tripod, dan periksa apakah baut penjepit pelat terpasang dengan kencang. Pastikan kru kaki berada di tengah lintasan.
4. Lihat melalui plummet optik atau nyalakan plummet laser. Anda seharusnya dapat melihat titik kontrol di eyepiece plummet atau diterangi oleh titik laser merah. Pastikan reticle dalam fokus tajam dan terfokus pada tanah atau titik.
5. Dengan menggunakan sekrup kaki, gerakkan reticle atau laser hingga melewati titik. Tribach dan pelat tidak akan sejajar dengan kepala tripod. Level melingkar mungkin jauh dari pusat.
6. Dengan menyesuaikan panjang setiap kaki tripod, pusatkan level melingkar hanya menggunakan kaki. Reticule harus tetap berada di tengah titik dengan cukup baik.
7. Setelah level melingkar pelat cukup terpusat, gunakan sekrup kaki untuk memusatkan gelembung level pelat. Trimble M3 menggunakan tampilan level elektronik untuk memberikan panduan leveling. Lihat Bagian 2.4 tentang leveling dengan sekrup kaki. Periksa level pelat hingga 90°.
8. Periksa plummet optik. Reticule atau pointer akan bergeser dari titik. Kendurkan baut pelat sedikit dan gerakkan instrumen dan tribach melintasi kepala tripod untuk memusatkan kembali plummet. Jangan "memutar" tribach di sekitar porosnya selama pemusatan kembali.
9. Periksa dan pusatkan kembali level pelat menggunakan sekrup kaki, periksa pemusatan melalui plummet optik, periksa fokus dan paralaks, periksa level pelat melalui 90°. Ini adalah proses berulang.
10. Periksa pemusatan di atas titik dengan mengamati plummet optik melalui 4 kuadran. Setiap kesalahan kolimasi akan terlihat saat lintasan reticule menggambarkan lingkaran kecil di sekitar titik. Sedikit kolimasi dapat dihilangkan dengan memusatkan titik di dalam lingkaran reticule yang dijelaskan.

Kesamaan Sokkia TS dan set prisma memungkinkan teknik pemusatan semi-paksa digunakan dalam melintasi titik kontrol. Sistem ini memungkinkan pertukaran instrumen dan set prisma antara tribrach tanpa harus memusatkan kembali titik atau mengukur ulang ketinggian. Setiap perubahan level tidak signifikan.



Mempersiapkan Trimble M3 DR 5" untuk Pengamatan Survei

Total Station Trimble M3 DR 5", atau yang serupa, digunakan dalam beberapa kursus Survei di beberapa lembaga pendidikan tinggi dan merupakan tipikal dari sebagian besar instrumen survei modern. Pengaturan, kontrol, dan keluaran informasi survei ditampilkan pada layar sentuh berwarna QVGA 90 mm. Sistem operasinya adalah Windows® Embedded CE 6.0. Tampilan dan program sistem dijalankan oleh perangkat lunak seperti Trimble Field Access, yang memungkinkan tugas survei umum dilakukan. Perangkat lunak menyimpan data, menyediakan solusi pekerjaan survei khusus; perangkat lunak ini mencakup program COGO untuk memecahkan sebagian besar masalah trigonometri yang rumit.



Mempersiapkan Sokkia SET530RK3 untuk Observasi Survei

Stasiun Total Sokkia SET530RK3 yang digunakan dalam pengajaran unit survei teknik sipil dan pertambangan di Universitas Curtin (Australia) merupakan salah satu dari sebagian besar instrumen survei. Alat ini dikontrol melalui 2 papan tombol dan layar. Data yang diukur dapat dibaca dari salah satu layar. Instrumen ini memiliki sejumlah fungsi bawaan untuk:

- Mengatur parameter instrumen,
- Menyelesaikan tugas komputasi berulang tertentu,
- Merekam data observasi

Untuk latihan lapangan tertentu di unit teknik sipil dan tambang, kami sarankan agar semua data observasi dicatat dalam buku survei lapangan untuk memberi siswa praktik pencatatan. Kompleksitas dan keahlian yang dibutuhkan untuk perekaman, pengunduhan, dan manipulasi data menghalangi penggunaan banyak fitur instrumen. Jangan merekam jarak H dari layar SHV. Instrumen MUNGKIN memiliki faktor skala (SF) yang tertanam dalam JOB. SF hanya memengaruhi jarak horizontal (H).

Mempersiapkan Instrumen untuk Observasi.

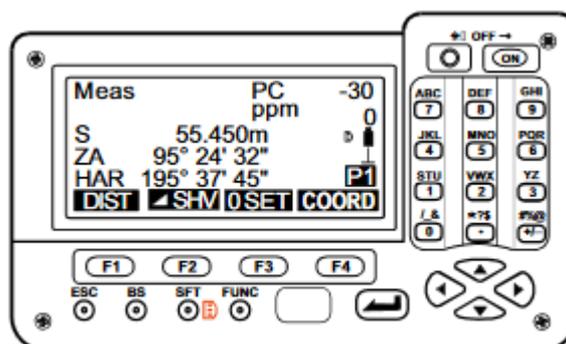
Setelah meratakan dan memposisikan instrumen di atas titik yang ditentukan, masukkan baterai yang terisi daya dan nyalakan instrumen. Tunggu hingga layar menyala. Biasanya layar akan menyala ke halaman 1 pada layar pengukuran. Layar menunjukkan instrumen dalam mode pengukuran (Pengukuran) konstanta prisma PC -30 ditetapkan untuk koreksi atmosfer target normal adalah **nol ppm 0**

jarak kemiringan terakhir: **S 55.450m**

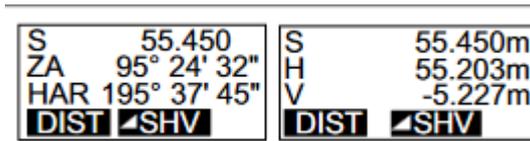
sudut vertikal saat ini: **ZA 95° 34' 32"**

arah saat ini: **HAR 195° 37' 45"**

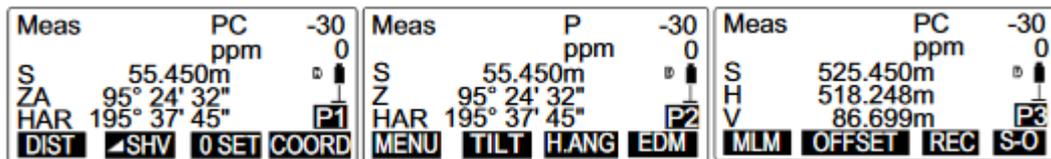
halaman tampilan saat ini adalah **halaman 1** label menu yang disorot dikontrol oleh tombol fungsi (**[F1] – [F4]**) **[F1]** memulai pengukuran jarak ke target jarak tetap berada di layar hingga **F1** digunakan untuk pengukuran jarak berikutnya. Hasil pembacaan **ZA** dan **HAR** bervariasi saat teleskop digerakkan. **[F2]** beralih antara jarak kemiringan layar vektor **S**, **VA** dan **HAR** dan layar persegi panjang, **SHV** kemiringan **S**, jarak horizontal **H** dan vertikal **V**. Koordinat persegi panjang ini merujuk pada pengukuran pada penekanan **[F1]** terakhir. Tombol **FUNC** berfungsi untuk beralih di antara tiga (3) halaman layar **Meas**.



Gambar 4.2 Layar Sokkia Measure. Halaman 1

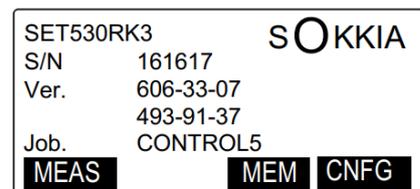


Gambar 4.3 Layar Vektor/Persegi Panjang



Gambar 4.4 Tiga Layar Pengukuran

Layar **MENU** diakses melalui tombol fungsi **[F1]** pada layar Pengukuran **P2**. Tombol ini memungkinkan pengaturan memori dan konfigurasi instrumen. Kembali ke layar Pengukuran dengan menggunakan tombol fungsi **[F1]**. Tombol fungsi **[F2]** **TILT** mengaktifkan layar grafis untuk memungkinkan perataan instrumen yang akurat, atau untuk memungkinkan pemeriksaan perataan. Kembali ke layar Pengukuran **P2** menggunakan tombol **ESC**. Jika Di Luar Jangkauan ditampilkan pada layar Pengukuran, maka instrumen berada di luar level dan kompensator kemiringan tidak dapat memberikan koreksi. Periksa dan ratakan ulang instrumen menggunakan gelembung pelat atau layar **TILT**.



Gambar 4.5 Layar Menu

Mengatur Pembacaan Sudut Horizontal.

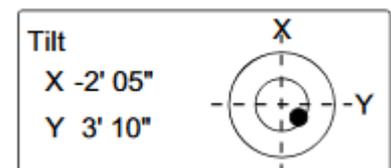
Tombol fungsi **[F3]** **H.ANG** pada **P2** memungkinkan input Pembacaan Sudut Horizontal (HAR) saat menyelaraskan dengan target dengan posisi yang diketahui (Gambar 4.7). Posisi harus dimasukkan dalam format **D.MMSS**, diikuti dengan tombol **ENTER**.

195° 37' 45" dimasukkan dari papan tombol sebagai: 195.3745. (ENTER)

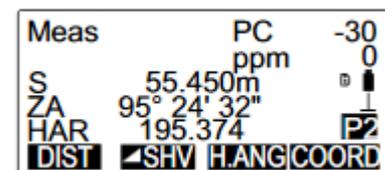
Perhatikan bahwa pada layar **Pengukuran P1** tombol fungsi **[F3]** **OSET** memungkinkan arah 0° 00' 00" untuk diatur. Setelah tombol **[F3]** pertama ditekan, lampu akan berkedip. Tekan tombol **[F3]** untuk kedua kalinya untuk mengonfirmasi pengaturan. Tampilan agak lambat dalam memperbarui. Tombol fungsi **[F4]** **EDM** menampilkan dua halaman informasi. Halaman pertama memungkinkan pengaturan mode pengukuran jarak, metode yang digunakan untuk menentukan jarak lereng.

Fine "r" adalah pengaturan default, pengukuran berulang pada prisma, ditampilkan hingga 0,001m, presisi $\pm(3\text{mm} + \text{dist.} \times 2\text{ppm})$.

Fine "AVG" untuk jarak yang lebih presisi, rata-rata lebih dari 3 – 9 pembacaan, ditampilkan hingga 0,0001m, presisi $\pm(2\text{mm} + \text{dist.} \times 2\text{ppm})$.



Gambar 4.6 Layar Tilt



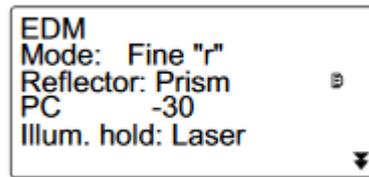
Gambar 4.7 Input Sudut H

Fine "s", Rapid "s" adalah pengukuran tunggal. Pengukuran ini sedikit lebih cepat, tetapi akurasi lebih rendah, ditampilkan hingga 0,001m.

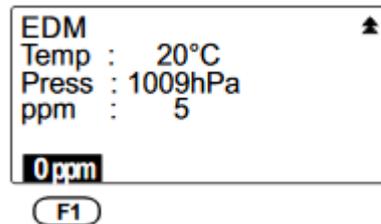
[F1] Oppm memungkinkan pengaturan ulang kondisi default.

Perubahan pada layar ini harus dikonfirmasi menggunakan enter sebelum keluar dari layar **EDM** menggunakan tombol **ESC**. **ESC** Anda akan kembali ke layar **P2 MEAS**.

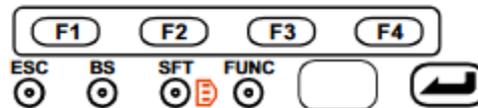
Atmosfer standar untuk Sokkia SET530 adalah: Tekanan 1013hPa, suhu 15°C, kelembapan relatif (RH) 0%. Karena kontribusi kelembapan yang kecil pada sebagian besar pengukuran, hal ini dapat diabaikan. SET530 mampu mengukur hingga 4000 m pada satu prisma, tetapi bahkan pada Newman, dengan siklon yang mendekat dan RH = 75% kesalahannya hanya setara dengan 1 ppm (0,004 m) dengan mengabaikan koreksi RH. EDM juga memungkinkan input untuk konstanta prisma nonstandar. Konstanta ini muncul saat prisma target seperti prisma 360 derajat dan prisma mini 360 derajat digunakan. Set target Sokkia APS12-MAR normal yang menggunakan prisma AP01AR berdiameter 62 mm memiliki konstanta prisma sebesar -30 mm. Ini ditampilkan di layar sebagai PC - 30. Jarak yang diukur melalui prisma ini 30 mm terlalu panjang karena panjang konstruksi mekanis target, sinar pantulan dalam prisma, dan perubahan kecepatan cahaya melalui kaca prisma. Panjang ekstra ini dikurangi oleh pengontrol terpasang. Kebanyakan prisma melingkar 62mm dan "kacang" memiliki PC - 30. PC ditandai pada prisma, harus ditetapkan pada instrumen dan dicatat dalam buku lapangan. Pengecualian yang menonjol adalah prisma melingkar Leica Geosystems GPR121/111, GPH1P dengan PC -34,4. (4,4mm berbeda dari kebanyakan yang lain). Jika Anda bekerja dengan Leica Total Stations, gunakan hanya set prisma mereka dan perhatikan dengan saksama penggunaan Additive Prism Constants (APC) untuk berbagai jenis prisma mereka. Tabel 4.1 merangkum berbagai APC. Tombol SFT beralih di antara jenis prisma yang tersedia di menu EDM saat berada di layar Pengukuran (Gambar 4.10), prisma melingkar, PC -30 (atau sebagaimana didefinisikan dalam pengaturan), lembar reflektor datar, PC 0 dan tanpa reflektor, PC 0. Mini-prisma 360°, memiliki PC +3. Prisma melingkar, PC -30, dapat digunakan dan koreksi sebesar 0,027 (27 mm) diterapkan pada perhitungan data jarak kemiringan lapangan yang terekam. Metode ini dapat menghilangkan kebutuhan untuk menyiapkan nilai PC baru di Total Station. Tombol ESC keluar dari operasi saat ini, tombol BS mengaktifkan layar menu Back Sight. Gunakan fungsi H.ANG pada layar Pengukuran P2 untuk memasukkan orientasi untuk latihan ini. Tombol FUNC beralih di layar Pengukuran. Jendela plastik merah persegi digunakan oleh gagang kendali jarak jauh.



Gambar 4.8 Pengaturan Edm



Gambar 4.9 Pengaturan Met



Gambar 4.11 Papan Ketik Kontrol

Menetapkan Arah Awal menggunakan Kompas Tabung (Trough)

Stasiun Total Sokkia dilengkapi dengan kompas tabung yang terpasang pada slot di pegangan pembawa instrumen. Kompas CP7/CP8 memungkinkan pengaturan instrumen ke arah utara magnetik setempat. Kompas terdiri dari tabung yang berisi jarum kompas, poros jarum, dan sekrup penjepit. Jarum bebas yang seimbang dengan benar terletak sejajar horizontal dalam medan magnet.

Penunjuk di ujung selatan jarum dilihat melalui jendela dan sejajar di antara dua garis indeks, garis lubber. Dipasang pada pegangan TS yang telah diatur, instrumen diputar ke arah Utara hingga ujung selatan jarum berayun bebas dan stabil di antara garis lubber. Dijepit, dan menggunakan sekrup gerak lambat, TS disejajarkan ke MAGNETIK 360°. (Sejajar dengan meridian magnetik).

Menambahkan deklinasi magnetik tempat tersebut ke 360° menghasilkan arah meridian yang SEBENARNYA dari penunjuk tersebut. Arah sebenarnya (T) = Magnetik (M) + deviasi (D).

Menetapkan Utara magnetik, $M = 360^\circ$, di mana, di Perth deviasi sekitar $-1^\circ 35'$, $T = 358^\circ 25'$.

Deviasi Canberra adalah $+12^\circ 20'$. $T = 12^\circ 20'$. Dijepit di utara magnetik, arah SEBENARNYA dimasukkan menggunakan fungsi [F3] H.ANG dan dengan demikian menetapkan penyelarasan TS yang dekat dengan meridian geografis. (Utara Sebenarnya).

Jarum kompas harus diseimbangkan dengan inklinasi magnetik area tersebut. Inklinasi Perth adalah -66° . Kompas yang diseimbangkan di Jepang (kemiringan $+49^\circ$) harus diseimbangkan ulang oleh teknisi instrumen. (Jarum dilepas dari wadahnya. Diseimbangkan

pada pin vertikal di poros dengan menggerakkan kumparan tembaga kecil pada jarum hingga jarum berada pada posisi horizontal).



S end needle

Gambar 4.12 Kompas Tabung

4.3 PENGUKURAN

Pengukuran Jarak

Jarak adalah pengukuran panjang linear dan dapat berupa vertikal, horizontal, atau kemiringan (kemiringan). Jarak dapat diukur baik secara langsung (misalnya, menggunakan pita pengukur, rantai, dan pengaturan kecepatan) atau secara tidak langsung menggunakan, misalnya, perangkat pengukuran jarak elektronik (EDM) yang dipasang di Total Station. Pengukuran jarak tidak langsung dapat dilakukan dalam bentuk geometris (misalnya, optik) atau elektronik (misalnya, berbasis gelombang). Jarak digunakan sebagai berikut:

- Jarak Horizontal dan Vertikal
 - a. Pemetaan
 - b. Survei kontrol
 - c. Pekerjaan desain teknik
- Kemiringan dan Jarak Vertikal
 - a. Menetapkan lokasi konstruksi
 - b. Jarak vertikal berguna dalam pemindahan ketinggian dari lantai ke lantai di gedung bertingkat dan di pertambangan (permukaan ke bawah tanah)

EDM adalah metode pengukuran jarak yang paling umum saat ini dan tersedia di Total Station, pengukur jarak genggam (Disto), dan pemindai laser. Mereka dapat diklasifikasikan menurut:

- Sumber radiasi: optik (tampak dan NIR) atau gelombang mikro
- Prinsip pengukuran: perbedaan fase atau pulsa
- Apakah reflektor diperlukan atau tidak (tanpa reflektor)

Metode perbedaan fase adalah metode pengukuran jarak yang paling umum (saat ini) yang ditemukan dalam instrumen survei.

- Sinar yang dipancarkan $y = A \sin(\omega_m t)$

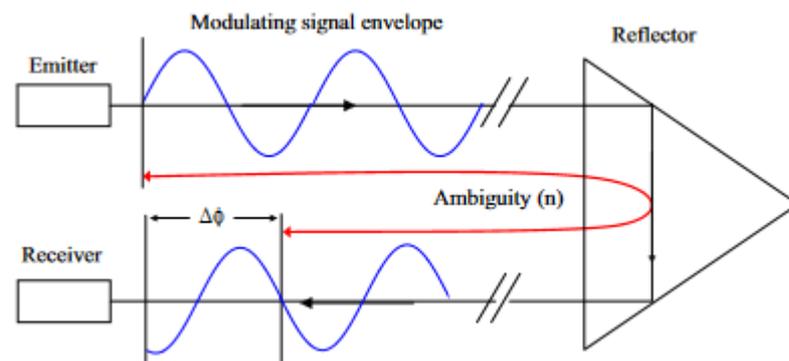
➤ Sinar yang diterima $y = A \sin(\omega_m t - \phi)$ $y = A \sin(\omega_m t - \phi)$

Perhatikan bahwa ω_m menunjukkan frekuensi sudut panjang gelombang modulasi. Instrumen EDM mengukur perbedaan fase antara sinyal yang dipancarkan dan diterima, $\Delta\phi$. Panjang gelombang modulasi yang diketahui, λ_m , dapat digunakan untuk mengubah perbedaan fase menjadi waktu yang telah berlalu antara emisi dan penerimaan. Hanya sebagian kecil dari satu siklus lengkap (panjang gelombang) yang dapat diukur, dengan demikian, masih ada bilangan bulat siklus yang tidak diketahui (ambiguitas), n , antara instrumen dan reflektor. Waktu tempuh dua arah (waktu antara emisi dan penerimaan), Δt , diberikan oleh:

$$\Delta t = \left(\frac{\Delta\phi}{2\pi} + n \right) \frac{\lambda_m}{v}$$

Jarak diperoleh dengan mengalikan selisih waktu dengan kecepatan. Namun, karena Δt merupakan waktu perjalanan pulang pergi (yaitu penerbangan dua arah), maka jarak tersebut harus dibagi 2 untuk memperoleh jarak antara instrumen dan reflektor,

$$d = \frac{c\Delta t}{2}$$

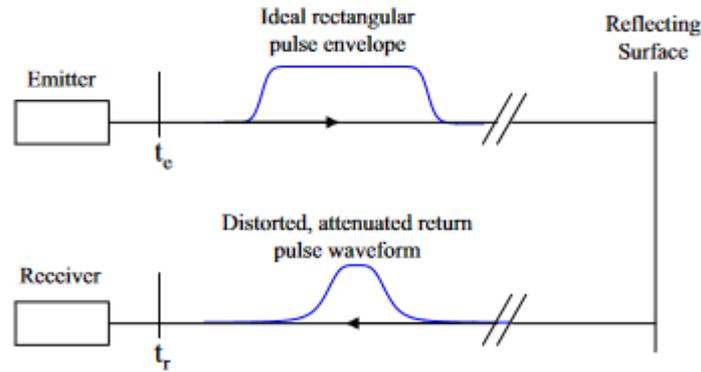


Gambar 4.12 Pengukuran Perbedaan Fase Dalam EDM

Metode pulsa (Gambar 4.14) semakin umum digunakan dalam EDM, khususnya instrumen tanpa reflektor. Alih-alih modulasi amplitudo kontinu, sinyal pembawa (cahaya tampak atau NIR) dimodulasi menjadi pulsa diskrit. Jarak diperoleh dari waktu tempuh pulsa dua arah

$$2d = v(t_r - t_e) \therefore d = \frac{v(t_r - t_e)}{2} = d = \frac{c\Delta t}{2}$$

Karena $c \approx 300 \text{ mm/ns}$, resolusi rentang 10 mm memerlukan resolusi pengukuran interval waktu pulsa 67.



Gambar 4.13 Pengukuran metode pulsa dalam EDM

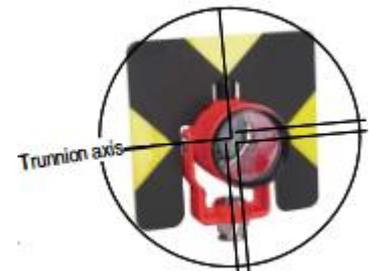
EDM tanpa reflektor: Banyak Stasiun Total baru menawarkan dua cara EDM

- Berbasis perbedaan fase, menggunakan prisma
- Tanpa reflektor, menggunakan laser berdenyut

Pemindai laser (terrestrial dan udara) tidak memiliki reflektor. Sistem pemindai laser yang memiliki metode perbedaan fase dan metode denyut ada. Satu pemindai laser terrestrial sebenarnya memiliki keduanya.

Prisma: Prisma yang digunakan untuk EDM adalah kubus sudut kaca yang memantulkan radiasi elektromagnetik (EM) yang datang kembali ke instrumen.

- Ini karena sudut puncak kubus adalah 90° .
- Beberapa kelompok prisma digunakan untuk jarak yang jauh.
- Prisma omnidirectional berguna untuk survei topografi.

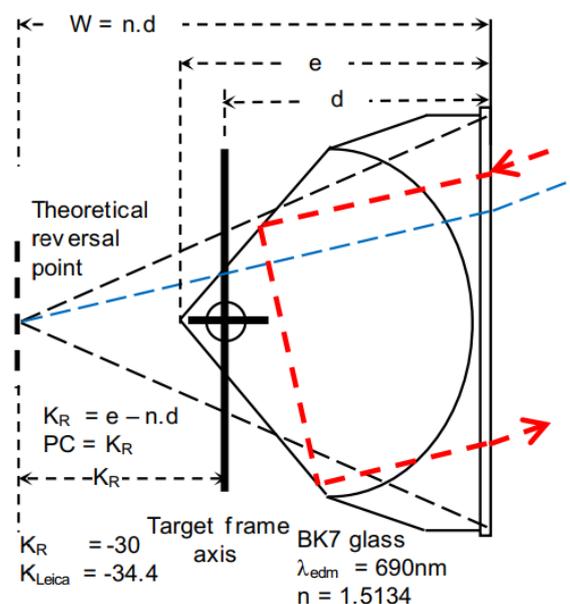


4.4 KONSTANTA PRISMA, MENGAPA BANYAK DIRIBUTKAN?

Bagaimana Prisma Diukur, dan PC-nya Ditentukan

Jarak diukur menggunakan berkas cahaya termodulasi yang dipantulkan kembali ke instrumen oleh prisma sudut. Prisma sudut digunakan untuk memastikan bahwa berkas yang dipantulkan sejajar dengan berkas pengukuran yang masuk. Berkas tersebut dipantulkan dari permukaan internal kubus.

Kecepatan sinyal melalui prisma diperlambat oleh faktor yang dikenal sebagai indeks bias kaca. Hal ini bergantung pada komposisi kaca dan panjang gelombang, λ , dari sinyal. BK7 adalah kaca lebur borosilikat dengan karakteristik yang sangat baik untuk prisma. Kaca ini memiliki transmisivitas tinggi, biasanya lebih dari 95% dari inframerah jauh (2.000nm) melalui



Gambar 4.14 Prisma Retroreflektif

spektrum tampak (merah, 700nm – ungu, 380nm) hingga ultraviolet dekat (350nm). Indeks bias, n_d , berkisar dari 1,513 pada 700nm hingga 1,536 pada 365nm. Kurva n_d lebih datar pada ujung merah spektrum tampak, yang memungkinkan penggunaan laser merah untuk EDM. Angka Abbe, $V_d = 65$, adalah ukuran dispersi rendah. Panjang lintasan optik cahaya di dalam prisma dalam setiap kasus pada Gambar 4.15 adalah $(2a + 2b)$, yang dalam kedua kasus setara dengan dua kali jarak dasar-puncak, d , karena $b=b'$. Karena indeks bias (n) kaca lebih tinggi daripada udara ($\approx 1,52$), jarak yang diukur lebih panjang. Mengapa? Karena jarak dasar-puncak d (Gambar 4.16) dapat ditentukan dari waktu terbang sinyal dalam kaca yang setara dengan vakum, Δt^* , sebagai:

$$d = \frac{c\Delta t^*}{2n_g}$$

yang dapat disusun ulang menjadi:

$$\Delta t^* = \frac{2n_g d}{c}$$

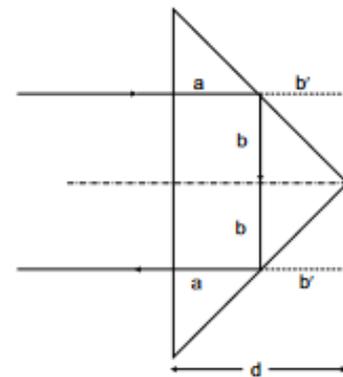
Untuk waktu penerbangan yang sama di udara, yang diasumsikan oleh instrumen, jarak dasar-puncak yang bias, d^* , diberikan oleh:

$$d^* = \frac{c\Delta t}{2n_a} = \frac{c}{2n_a} \cdot \frac{2dn_g}{c} = \frac{n_g}{n_a} d$$

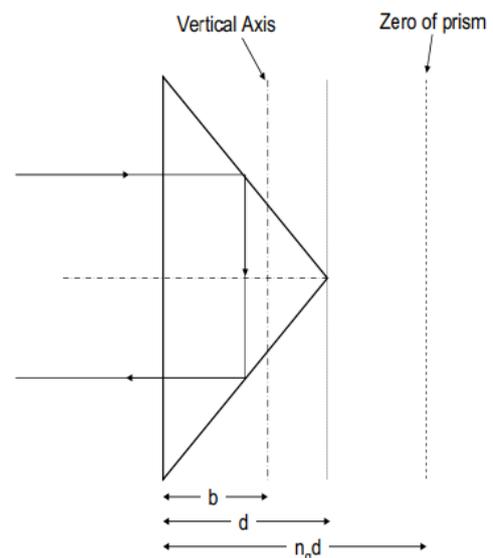
Dengan asumsi indeks bias udara adalah 1, maka titik nol prisma, yaitu bidang yang menjadi acuan pengukuran jarak (jalur ekuivalen udara) diberikan oleh $(n_g \cdot d)$. Lebih jauh lagi, puncak prisma dapat diimbangi dari sumbu vertikal target atau tiang tempat prisma dipasang. Pengimbangan ini merupakan kesalahan sistematis yang harus dimodelkan dan diterapkan sebagai koreksi terhadap jarak yang diukur. Jarak yang diukur dikoreksi sebagai berikut:

- Kurangi jarak jalur ekuivalen udara ($n_g \cdot d$) untuk mengurangi jarak ke permukaan prisma – disebut sebagai Konstanta Aditif – AC.
- Tambahkan pengimbangan dari permukaan prisma ke sumbu vertikal, b . Dengan demikian, konstanta prisma absolut sebagai

$$PC = -nd_g + b$$



Gambar 4.15 Konstanta Prisma



Gambar 4.16 Koreksi Konstanta Prinsip

Dalam praktiknya, efek gabungan (yaitu konstanta prisma) ditentukan melalui kalibrasi dan dimasukkan ke dalam instrumen Total Station daripada menentukan komponen-komponen individual. Kombinasi prisma-EDM dikalibrasi bersama karena konstanta prisma yang diestimasi juga akan berisi komponen karena offset referensi nol EDM dari sumbu vertikal Total Station. Contoh: Prisma berdiameter 62mm yang umum. Secara mekanis BK7 adalah kaca yang bagus. Ia juga memiliki tingkat gelembung dan inklusi yang sangat rendah, tahan asam dan memiliki daya serap air yang rendah.

Titik leleh dan suhu anilnya yang relatif rendah membuatnya relatif murah. Tetapi seseorang harus membayar untuk presisi pemesinan sudut prisma 90°. Dapat dilihat bahwa sinar cahaya dipantulkan dari titik pembalikan teoritis, lintasan sekitar 1,5 kali kedalaman prisma, dan sumbu rangka target bergantung pada konstanta prisma desain, Kr. Prisma 62mm yang umum memiliki kedalaman 47,5mm. Sokkia EDM memiliki panjang gelombang 690nm. Dengan $n_d = 1,5134$, $W = 71,9\text{mm}$ dan konstanta prisma, $Kr = -30$, sumbu tegak lurus prisma adalah $71,9 - 30 = 41,9\text{mm}$ di belakang permukaan prisma.

Sebagian besar produsen set prisma menyediakan $PC = -30$. Perlu diketahui bahwa prisma bulat standar Leica Geosystems 62mm, seri GPR, memiliki $PC = -34,4\text{mm}$. Nilai ini ditampilkan pada layar pengaturan EDM sebagai CIRC 0. Nilai ini ditangani secara internal dalam perangkat lunak EDM untuk menampilkan jarak yang benar. Ada sejumlah set prisma lain yang tersedia dan pengaturan PC EDM di Total Station harus ditetapkan untuk prisma. PC, atau Kr, bergantung pada konstruksi mekanis prisma. Prisma kacang berdiameter sekitar 25 mm menggunakan pembawa khusus pabrikan untuk menyediakan $PC = -20$ atau $PC = 0$, yang memungkinkan pengukuran ke sudut atau permukaan yang dibatasi.

Prisma 360° memiliki PC tergantung pada ukuran fisik kluster 6 prisma. Dua prisma 360° berbeda yang digunakan di Curtin adalah prisma mini

Bear 360, $PC = +3\text{ mm}$, digunakan dalam latihan lapangan, dan prisma besar

Bear 360, $PC = +13\text{ mm}$.

Pengamatan tanpa reflektor, atau pengamatan ke lembar target, menggunakan $PC = 0$.

Untuk semua instrumen selain produk Leica Geosystem, gunakan PC yang ditentukan untuk prisma tertentu dan atur ini di PC EDM.

Teka-teki Konstanta Prisma Leica Geosystems Total Station

Instrumen Leica memiliki kehadiran yang kuat di industri pertambangan, dan dalam survei umum. Jika Anda menggunakan peralatan Leica, gunakan target Leica dan masukkan konstanta yang benar di EDM. Jika Anda menggunakan prisma non-Leica, maka DEFINE atau atur USER sesuai dengan yang berikut: Leica USER $PC = \text{Offset prisma (Kr atau PC, umumnya negatif)} + 34,4$

$$PC -30 \text{ USER } PC = -30 + 34,4 = +4,4$$

$$PC -40 \text{ USER } PC = -40 + 34,4 = -5,6.$$

Menemukan PC untuk prisma Leica yang ditentukan: $PC = \text{konstanta Leica} -34,4$.

Tabel 4.1 menyajikan:

- prisma Leica, konstanta yang ditetapkan dalam perangkat lunak EDM dan PC terkait untuk EDM lain karena prisma ditetapkan, tidak perlu menyediakan PC PENGGUNA ke instrumen
- prisma lain. Atur Leica EDM ke 0 (sirkuler, seri GPR). Kemudian atur PC PENGGUNA Leica seperti yang tercantum dalam tabel.

Perhatikan bahwa pita reflektif, PC = 0, dapat diatur dalam Leica EDM dengan konstanta +34,4 atau dengan konstanta 0,0 dan PC PENGGUNA Leica sebagai +34,4.

Tabel 4.1 Offset Prisma

Prisma Leica	Konstanta Leica	PC EDM Lainnya	PC PENGGUNA Leica
GPR121 (62mm)	0,0	-34,4	
GMP101 (prisma mini)	+17,5	-16,9	
Pita reflektif	+34,4	0,0	
GRZ4/GRZ122 (prisma 360°)	+23,1	-11,3	
GRZ101 (prisma mini 360°)	+30,0	-4,4	
Prisma lainnya	Tetapkan konstanta Leica	PC EDM Lainnya	Atur PC PENGGUNA Leica
Lingkaran 62mm (PC -30)	0,0	-30	+4,4
Lingkaran 62mm (PC -40)	0,0	-40	-5,6
Prisma mini Bear 360°	0,0	+3	+37,4
Prisma besar Bear 360°	0,0	+13	+47,4
Pita reflektif	0,0	0	+34,4

Pastikan Anda TAHU cara menyetel PC yang benar di EDM Anda. Sebagai tindakan pencegahan, selalu catat prisma yang digunakan, PC-nya, dan PC yang Anda setel di menu EDM. Dan periksa selama pengamatan Anda. Kalibrasi konstanta prisma:

- Metode sederhana untuk memeriksa atau menentukan konstanta prisma melibatkan pengukuran tiga jarak antara titik yang ditetapkan pada garis panjang
- Untuk setiap jarak, persamaan berikut dapat ditulis $AC = AB + BC$



Gambar 4.17 Pengaturan Kalibrasi Konstanta Prisma

- Dari kondisi $AC = AB + BC$, konstanta prisma, PC, ditentukan sebagai

$$AB = AB^{OBS} + PC, BC = BC^{OBS} + PC, AC = AC^{OBS} + PC$$

$$AB + BC = AC$$

$$AB^{OBS} + PC + BC^{OBS} + PC = AC^{OBS} + PC$$

$$\therefore PC = AC^{OBS} - AB^{OBS} - BC^{OBS}$$

Kesalahan Skala: Mungkin kesalahan sistematis instrumental terpenting kedua (terutama dalam instrumen perbedaan fase) adalah kesalahan skala. Persamaan waktu tempuh untuk metode perbedaan fase dapat disusun kembali dalam bentuk frekuensi modulasi, f_m .

$$\Delta t = \left(\frac{\Delta\phi}{2\pi} + n \right) \frac{\lambda_m}{v} = \left(\frac{\Delta\phi}{2\pi} + n \right) \frac{1}{f_m}$$

Kesalahan skala (yakni bergantung pada jarak) dapat terjadi karena kesalahan dalam frekuensi modulasi yang disebabkan oleh osilator – biasanya dinyatakan sebagai bagian per juta (ppm = 10^{-6} atau $1E^{-6}$). Dalam mengkalibrasi kesalahan skala, kehati-hatian harus dilakukan untuk memodelkan dan menghilangkan efek atmosfer (terutama suhu), yang memiliki efek sistematis serupa pada jarak.

Efek Atmosfer: Suhu, t , tekanan, p , dan kelembaban (tekanan parsial uap air, e , memengaruhi indeks bias udara, yang dihitung dengan

$$(n_a - 1) \cdot 10^6 = \frac{273.15n_g p}{(273.15 + t) \cdot 1013.25} - \frac{11.27e}{(273.15 + t)}$$

$$N_g = (n_g - 1) \cdot 10^6 = 287.6155 + \frac{4.88660}{\lambda^2} + \frac{0.06800}{\lambda^4}$$

di mana N_g adalah indeks bias grup dan λ adalah panjang gelombang pembawa. Efeknya adalah:

- Suhu (terbesar): 1 ppm per °C (1 ppm adalah 1 mm pada jarak 1 km).
- Tekanan: 0,3 ppm per hPa.
- Tekanan parsial uap air: 0,04 ppm per hPa.
- Variasi atmosfer pada Suhu (t), Tekanan (p) dan Kelembaban (e) - mengakibatkan variasi refraksi.

Contoh: Faktor Koreksi Atmosfer Sokkia Set 530RK3

Koreksi jarak adalah $D = d + dC$, di mana C dalam ppm diberikan oleh

$$C = 282.59 - \frac{0.094p}{1 + 0.366lt} + \frac{0.0416e}{1 + 0.366lt} \text{ dimana}$$

$$e = h \frac{E}{100} \text{ dan } E = 6.11 \cdot 10^{\left(\frac{7.5t}{t+273.3}\right)}$$

t : Suhu Udara dalam derajat Celsius (°C).

p : Tekanan udara absolut dalam Hektopascal (hPa) (tekanan aktual di lokasi pengamatan).

e : Tekanan uap air (hPa).

h : Kelembaban relatif, RH, (%).

E : Tekanan air jenuh.

Pertimbangkan: $t = 35$ °C, $d = 1234.660$, dan tekanan, $p = 975$ hPa. Koreksi karena kelembaban kecil dan dapat diabaikan.

$$C = 282.59 - \frac{0.2942 \times 975}{1 + 0.3661 \times 35} + \text{abaikan kelembapan}$$

$$C = 282.59 - 254.265. C = 28.3\text{ppm}$$

$$D = 1234.660 + (1234.66 \times 28.3 \times 10^{-6}) = 1234.660 + 0.034$$

$$D = 1234.658$$

Selanjutnya, mari kita perhatikan $t = 15^\circ\text{C}$, $d = 1234.660$, dan tekanan = 1020hPa. Koreksi akibat kelembapan dapat diabaikan.

$$C = 282.59 - \frac{0.2942 \times 1020}{1 + 0.3661 \times 15} + \text{abaikan kelembapan}$$

$$C = 282.59 - 254.463. C = -1.9\text{ppm}$$

$$D = 1234.660 + (1234.66 \cdot -1.9 \cdot 10^{-6}) = 1234.660 - 0.002$$

$$D = 1234.658$$

Kesalahan Periodik (Siklis)

- Kesalahan ini terjadi karena adanya gangguan (interferensi) listrik atau optik di dalam instrumen EDM.
- Kesalahan ini berukuran beberapa mm dan berperilaku seperti sinusoida dengan panjang gelombang yang sama dengan panjang satuan, yang untuk sebagian besar EDM adalah 10 m.
- Kesalahan ini dapat memiliki komponen sinus dan kosinus.

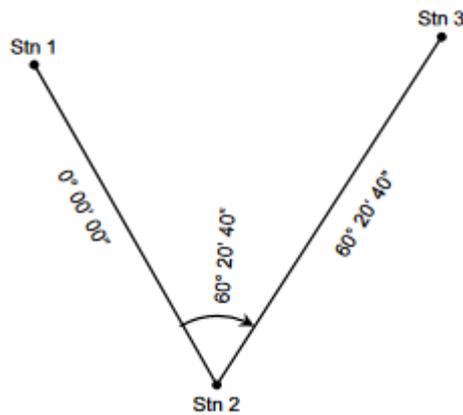
Ringkasan Sumber Kesalahan Utama

- Sistematis
 - ✓ Instrumental
 - o Konstanta prisma
 - o Skala
 - o Siklik
 - ✓ Alami: indeks bias
- Acak
 - ✓ Presisi EDM (ukuran dispersi kesalahan acak) biasanya ditentukan dalam format $\pm(a \text{ mm} + b \text{ ppm})$
 - ✓ Ada bagian konstan dan bagian bergantung jarak
 - ✓ Contoh: $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$

4.5 PENGUKURAN SUDUT

Survei di Australia, seperti di banyak negara Persemakmuran, menggunakan sistem seksagesimal untuk mengukur dan melaporkan sudut.

- ✓ Ada 360° dalam satu lingkaran
- ✓ Setiap derajat dibagi menjadi 60 menit (menit busur), $1^\circ = 60'$
- ✓ Setiap menit dibagi menjadi 60 detik (detik busur), $1' = 60''$



Gambar 4.18 Pengukuran Sudut Horizontal

Kami tertarik pada cara sudut-sudut ini diukur:

- ✓ Total Station diratakan sehingga sudut atau arah horizontal diukur dalam bidang horizontal (lihat Gambar 4.1 (a)).
- ✓ Sudut zenith (lihat Gambar 4.1(b)) dirujuk ke zenith, yang untuk instrumen yang diratakan bertepatan dengan vektor gravitasi lokal.
- ✓ Sudut elevasi dirujuk ke bidang horizontal.
- ✓ Jika instrumen tidak diratakan dengan benar atau tidak dalam penyesuaian yang benar, kesalahan sistematis akan terjadi pada sudut-sudut tersebut.
- ✓ Kesalahan ini akan menyebar ke koordinat yang dihitung selanjutnya.

Untuk mengukur sudut, mari kita perhatikan Gambar 4.18. Kita tertarik untuk mengukur sudut antara Stn 1 dan Stn 3 dengan instrumen yang diatur pada Stn 2. Setelah instrumen diatur dan diratakan pada Stn 2 seperti yang dibahas dalam Bagian 4.1, teleskop instrumen diarahkan ke Stn 1 saat berada di Muka Kiri (FL). Pastikan garis bidik instrumen secara akurat membagi dua bagian tengah reflektor pada Stn 1 lalu kunci instrumen.

Sekrup gerak lambat digunakan untuk menyempurnakan pembagian dua. Dengan instrumen yang terkunci, pembacaan pada instrumen sekarang diatur pada $00^{\circ} 00' 00''$ (atau pembacaan sembarang). Ini adalah pembacaan pandangan belakang (BS). Dengan mempertimbangkan bahwa pengukuran sudut dalam survei dilakukan searah jarum jam, buka kunci instrumen dan putar perlahan ke arah Stn 3. Bagilah bagian tengah reflektor menggunakan garis bidik, lalu kunci instrumen dan bidik target dengan sekrup gerak lambat. Pembacaan horizontal instrumen (HAR untuk Sokkia) sekarang akan menunjukkan $60^{\circ} 20' 40''$, yaitu, pembacaan garis bidik depan (FS).

Sudut vertikal ekuivalen juga dapat dibaca pada instrumen yang diberikan sebagai ZA (untuk Sokkia). Sudut horizontal Stn 1-Stn 2 – Stn 3 diberikan sebagai selisih antara FS dan BS, yaitu, sudut (Stn 1-Stn 2-Stn 3) = FS-BS = $60^{\circ} 20' 40'' - 0^{\circ} 00' 00'' = 60^{\circ} 20' 40''$. Dalam Contoh 5.1 dari bagian 5.3, pengukuran sudut di Muka Kiri (FL) dan Muka Kanan (FR) dan pencatatan sudut yang diukur diilustrasikan. Siswa didorong untuk mempelajari contoh ini secara menyeluruh. Perhatikan bahwa dalam Contoh ini, format pencatatan hanyalah satu jenis dari beberapa jenis yang digunakan. Perhatikan juga bahwa sudut Stn 1-Stn 2- Stn 3 harus diukur

beberapa kali dengan pembacaan lingkaran awal yang berbeda terhadap Stn 1 dan diambil rata-ratanya.

Misalnya, jika pembacaan Stn 2 - Stn 1 bukan $0^{\circ}00' 00''$, sekarang dapat diatur ke $60^{\circ} 20' 40''$ dan pembacaan Stn 3 sekarang terbaca sebagai $120^{\circ} 40' 30''$ sehingga sudut horizontal terukur Stn 1 - Stn 2 - Stn 3 sebagai $FS-BS = 120^{\circ} 40' 30'' - 60^{\circ} 20' 40'' = 60^{\circ} 19' 50''$. Sudut horizontal terukur Stn 1-Stn 2 - Stn 3 sekarang menjadi rata-rata dari kedua sudut $(60^{\circ} 20' 40'' + 60^{\circ} 19' 50'')/2 = 60^{\circ} 20' 15''$. Keuntungan pengukuran berulang terletak pada peningkatan redundansi dan peningkatan presisi.

4.6 PENGUKURAN TOTAL STASIUN GABUNGAN

Pengukuran dengan Total Station menyediakan komponen vektor; arah, sudut vertikal, dan jarak. Pencatatan data ini sangat penting untuk keberhasilan melakukan pengamatan pada suatu titik. Terlepas dari pengukuran, komponen lain dari sesi ini perlu diukur dan dicatat.

Catatan Stasiun

Semua informasi yang berkaitan dengan stasiun yang ditempati perlu direkam dalam buku lapangan.

1. Tugas, personel, tanggal.
2. Nama, deskripsi, lokasi, data posisi (koordinat, RL), akses dan stasiun di-gram (untuk pemulihan selanjutnya).
3. Data instrumen; buat, model, nomor seri
4. Data Pengaturan; Tinggi instrumen (HI) di atas stasiun, konstanta prisma, koreksi atmosfer diterapkan.
5. Data target; prism membuat, model, s/n. Tinggi target (HT) di atas titik tanah.
6. titik kontrol diamati; Nama, deskripsi, lokasi, data posisi (koordinat, RL), diagram akses dan stasiun (untuk pemulihan selanjutnya).
7. Metode Orientasi; Poin yang digunakan, metode yang digunakan (acak, meridian magnetik, grid lokal). Poin yang digunakan untuk menetapkan deskripsi orientasi, penguraian belakang (BS).

Pengamatan perekaman

Pengamatan dicatat dalam buku lapangan untuk pengurangan data nanti. Data harus diserahkan secara akurat oleh Booker, memastikan konsistensi dalam beberapa pengukuran. Untuk stabil, jarak target tidak akan bervariasi lebih dari beberapa milimeter, dan lebih dari garis timbal balik perjanjian dengan pengamatan ke depan harus sangat mirip. Pada dasarnya tidak mungkin untuk mengatur ulang titik setelah instrumen telah dipindahkan. Umumnya seluruh tugas harus diulang. Pastikan Anda memiliki semua data sebelum Anda pindah ke poin berikutnya.

Contoh Pencatatan Pengamatan dari Stasiun Awal

Tabel 4-2 adalah contoh buku lapangan.

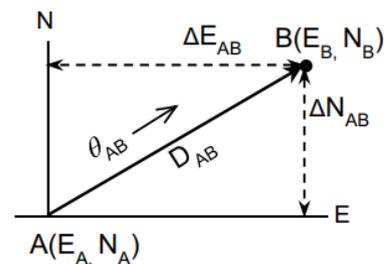
Stn 1001, 25mm peg at G/L		Task: Determine position by distances				21/11/2016	
TS Sokkia	SET530RK3	S/N 08/7	Prisms: APS12. PC -30				
GROUP: Fri 3-6	Observer:	B Lee	Booker:	A. Smith			
BRG	360° Mag meridian 358°21'10"		PC -30	PPM = 10	HI	1.55	
AT/TO		HAR	S	H		V	Remarks
AT	1001						HI = 1.585
B/S: SE 105	L	19 25 10	B/S to corner BLD 105				
	Mean	19 25 23					
SE 105	R	199 25 36					
Mean incl angle: SE 105 - 705A 42 52 57							
705A	L	62 18 35	90 36 50	65.428			HT = 1.587
	Mean	62 18 20					
705A	R	242 18 45	269 23 20	65.429			
Incl. Angle 705A - C400		76 22 20					
C400	L	138 40 35	92 11 20	59.583	HT = 1.535		
	Mean	138 40 40					
C400	R	318 40 45	267 48 30	59.584			
Side shots. FL only HT = HI							
NE 204	L	118 53 15	95 51 35	31.047	HT = 1.550		
D/S 134	R	150 33 45	89 25 50	29.868			

4.7 PERHITUNGAN

Memanipulasi Vektor Perhitungan Sistem Koordinat

Ada dua perhitungan survei dasar yang kita hadapi saat menggunakan koordinat yaitu:

1. Perhitungan Gabungan: diberikan koordinat dua titik A dan B, tentukan **bearing** dan **jarak** di antara keduanya. Ubah vektor RECTANGULAR menjadi POLAR.
2. Perhitungan Polar: diberikan koordinat titik A (E_A, N_A) bersama dengan bearing dan jarak dari titik A ke titik B, tentukan koordinat titik B (E_B, N_B). Ubah vektor POLAR menjadi koordinat RECTANGULAR.



Gambar 4.19 Koordinat Kutub/Persegi Panjang

Pada Gambar 4.19, koordinat titik A dan B masing-masing direpresentasikan oleh (E_A, N_A) dan (E_B, N_B) . Bearing A_B ditunjukkan sebagai θ_{AB} (yaitu sudut searah jarum jam dari utara di kuadran pertama). Jarak $A_B = D_{AB}$. Perhatikan bahwa arah vektor ditunjukkan oleh subskrip vektor. Untuk menghitung vektor yang dimaksud, konvensinya adalah:

Bearing θ_{AB} adalah arah dari A ke B.

Jarak $A_B = D_{AB}$ adalah jarak dari A ke B.

Mungkin jelas dengan sendirinya, tetapi dalam istilah vektor, jarak $B_A = D_{BA}$ negatif. ($D_{BA} = -D_{AB}$).

Dalam mengekspresikan perbedaan koordinat, yaitu ΔE_{AB} dan ΔN_{AB} , konvensi perbedaannya adalah titik yang Anda tuju dikurangi titik asal Anda.

$$\Delta E_{AB} = E_B - E_A \text{ dan } \Delta N_{AB} = N_B - N_A$$

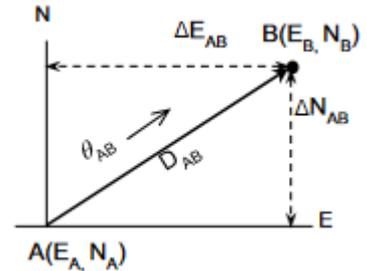
Perhitungan Gabungan

Diberikan: Koordinat A (E_A, N_A) dan koordinat B (E_B, N_B). Temukan: Bearing dan jarak A ke B yaitu θ_{AB}, D_{AB} . Solusi: Carilah sudut yang dibentuk dengan mengacu pada sumbu Utara/Selatan kerangka acuan.

$$\begin{aligned} \Delta E_{AB} &= E_B - E_A \\ \Delta N_{AB} &= N_B - N_A \\ \tan \angle A &= \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}} \end{aligned}$$

$$\theta_{ab} = A \tan \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}} \text{ di kuadran yang benar}$$

$$D_{AB} = \frac{\Delta E_{AB}}{\sin(\theta_{AB})} = \frac{\Delta N_{AB}}{\sin(\theta_{AB})} = \sqrt{\Delta E_{AB}^2 + \Delta N_{AB}^2} \text{ hipotunesa dari Pythagoras}$$



Gambar 4.20. JOIN

Dari Sudut Tersebut, Arctangent, Bagaimana Kita Memperoleh Bearing AB Di Keempat Kuadran?

Evaluasi sudut yang dihasilkan. Periksa tanda hasilnya. Tan positif di kuadran ke-1 dan ke-3. Jadi, metode kita menggunakan tanda komponen UTARA (ΔN).

$$\begin{aligned} \Delta N > 0 \text{ (Positive)} \quad \theta_{AB} &= 360 + \angle A. \text{ jika } \theta > 360: \theta = \text{MOD}(\theta, 360) \\ \Delta N < 0 \text{ (Negatif)} \quad \theta_{AB} &= 180 + \angle A. \text{ jika } (90 < \theta < 270) \end{aligned}$$

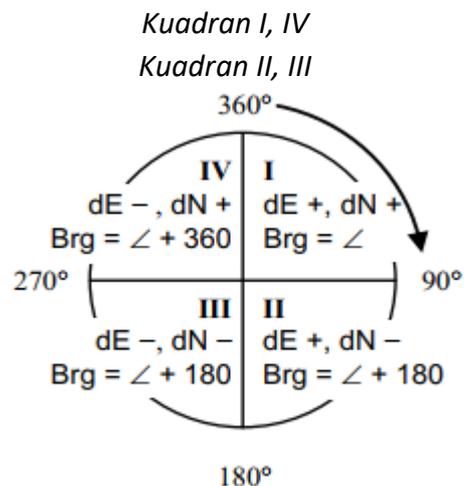
Operator $\text{MOD}(\theta, 360)$ atau $\text{MODULO}(\theta, 360)$ mengurangi nilai θ ke rentang $0 \rightarrow 360$.

$$\begin{aligned} (0 > \theta > 360) \\ \Delta N = 0 \text{ (zero): } A \tan \left(\frac{\Delta E}{0} \right) \end{aligned}$$

tidak dapat dievaluasi, kalkulator memberikan pesan kesalahan "Bagi dengan 0".

Tan(90°) tidak terdefinisi karena:

$$\lim_{\theta \rightarrow 90^\circ} [\tan \theta] \rightarrow \infty$$



Gambar 4.21 Kuadran Lingkaran

cenderung tak terhingga. Jadi untuk $\Delta N = 0, \theta = 90^\circ$ atau 270° . (Untuk kenyamanan kita katakan $\tan(90^\circ) = \infty$).

$$\Delta E = 0: A \tan \left(\frac{0}{\Delta N} \right)$$

dievaluasi dengan benar sebagai 0° dan jika $\Delta N < 0$ (negatif) maka $\theta = 180^\circ$

Pernyataan Pengujian:

jika $\Delta N = 0$ dan jika $\Delta E > 0$ maka $\theta = 90^\circ$ atau $\Delta E < 0$ maka $\theta = 270^\circ$

Mengilustrasikan bagaimana kita memperoleh arah AB di seluruh 4 kuadran.

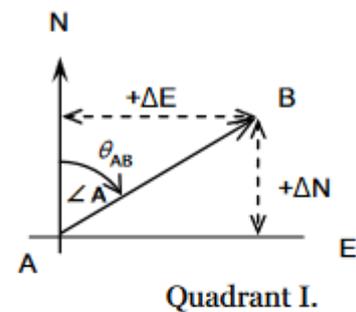
Kuadran 1: ($0^\circ - 90^\circ$). Tan $\angle A$ POSITIF

$$\tan \angle A = \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}}, \Delta N > 0 (+ve)$$

$$\theta_{AB} = 360 + A \tan \frac{\Delta E}{\Delta N}$$

$$\theta_{AB} = 360 + (+\angle)$$

$$\theta_{AB} = MOD(\theta, 360)$$

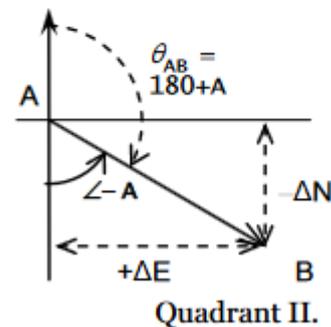


Kuadran 2: ($90^\circ - 180^\circ$). Tan $\angle A$ NEGATIF

$$\tan \angle A = \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}}, \Delta N < 0 (-ve)$$

$$\theta_{AB} = 180 + A \tan \left(\frac{\Delta E}{-\Delta N} \right)$$

$$\theta_{AB} = 180 + (-\angle)$$

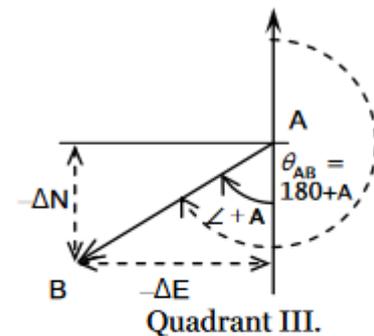


Kuadran 3: ($180^\circ - 270^\circ$). Tan $\angle A$ POSITIF

$$\tan \angle A = \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}}, \Delta N < 0 (-ve)$$

$$\theta_{AB} = 180 + A \tan \left(\frac{\Delta E}{-\Delta N} \right)$$

$$\theta_{AB} = 180 + (+\angle)$$

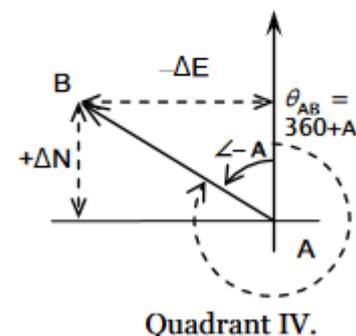


Kuadran 4: ($270^\circ - 360^\circ$). Tan $\angle A$ bernilai NEGATIF

$$\tan \angle A = \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}}, \Delta N < 0 (+ve)$$

$$\theta_{AB} = 180 + A \tan \left(\frac{\Delta E}{-\Delta N} \right)$$

$$\theta_{AB} = 180 + (+\angle)$$



Gambar 4.22 Empat Kuadran

Perhitungan Gabung

Diberikan: Koordinat A (E_A, N_A) dan B (E_B, N_B). Cari: Bearing dan jarak A ke B

Untuk: E_B, N_B $Tan \angle NAB = \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}}, \theta_{AB} = A \tan \left(\frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}} \right)$ di kuadran

Dari: $E_A, N_A, D_{AB} = \sqrt{\Delta E_{AB}^2 + \Delta N_{AB}^2}$

Perbedaan $\Delta E_{AB}, \Delta N_{AB}$

Check: $E_B = E_A + D_{AB} \sin(\theta_{AB})$

$N_B = N_A + D_{AB} \cos(\theta_{AB})$

1. Metode: untuk menemukan θ_{AB}, D_{AB} temukan perbedaan koordinat

$$\Delta E_{AB} = E_B - E_A \text{ dan } \Delta N_{AB} = N_B - N_A$$

2. Hitunglah Tangen sudut :

$$\tan \angle A = \frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}}$$

menggunakan tanda ΔE_{AB} dan ΔN_{AB}

3. Carilah Arctangent dari sudut:

$$\angle A = A \tan \left(\frac{\Delta E_{AB}}{\Delta N_{AB}} \right)$$

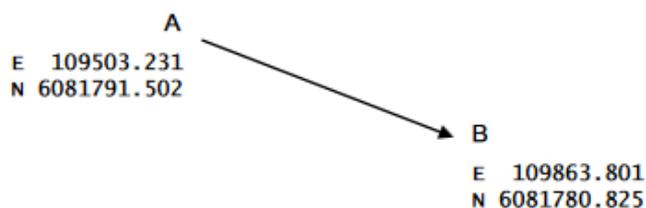
hitung θ_{AB} di kuadran yang benar

4. Dan jarak menggunakan teorema Pythagoras

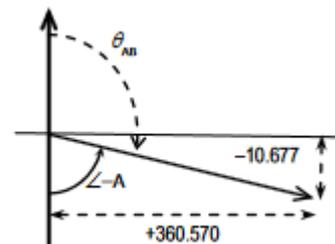
$$D_{AB} = \sqrt{\Delta E_{AB}^2 + \Delta N_{AB}^2}$$

Contoh Kerja 4.1

Hitunglah bearing dan jarak dari A ke B (lihat Gambar 4.23)



Gambar 4.23 Contoh Pengerjaan 1



Gambar 4.24 Komponen

	Easting	Northing
B	109863.801	6081780.825
- A	109503.231	6081791.502
	+360.570	-10.677

Figure 4.23

$$\Delta N < 0$$

Figure 4.24

$$\angle A = \text{Atan}(360.570/-10.677) = \text{Atan}(-33.7707) \angle A = -88^{\circ}18'14'' \text{ in quad II}$$

$$\theta_{AB} = 180 + (-88^{\circ}18'14'') \theta_{AB} = 91^{\circ}41'46''$$

$$D_{AB} = \sqrt{360.57^2 + (-10.677)^2}$$

$$D_{AB} = 360.728$$

CHECK.

$$E_B = E_A + D_{AB} \cdot \text{SIN}(\theta_{AB})$$

$$= 109503.231 + 360.728 \cdot \text{Sin}(91^{\circ}41'46'')$$

$$= 109503.231 + 360.570$$

$$E_B = 109863.801 \quad \checkmark$$

$$N_B = N_A + D_{AB} \cdot \text{COS}(\theta_{AB})$$

$$= 6081791.502 + 360.728 \cdot \text{Cos}(91^{\circ}41'46'')$$

$$= 6081791.502 + (-10.677)$$

$$N_B = 6081780.825 \quad \checkmark$$

Perhitungan Polar

Koordinat yang dibuat oleh vektor polar dari suatu titik [POLAR ke RECTANGULAR]. Perhitungan Polar. Diberikan: A (E_A, N_A) bersama dengan vektor polar, bearing/jarak A ke B.

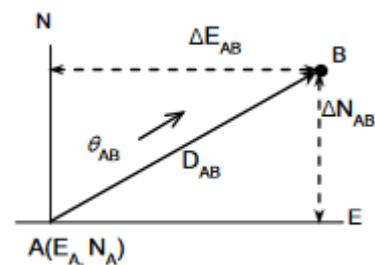
Cari: Koordinat B (E_B, N_B)

$$\Delta E_{AB} = D_{AB} \text{SIN}(\theta_{AB})$$

$$\Delta N_{AB} = D_{AB} \text{COS}(\theta_{AB})$$

$$E_B = E_A + \Delta E_{AB}$$

$$N_B = N_A + \Delta N_{AB}$$



Gambar 4.25 POLAR

Format:

	Brg/Dist	E	N
A	θ_{AB}	E_A	N_A
	D_{AB}	$\pm \Delta E_{AB}$	$\pm \Delta N_{AB}$
B	SUM	E_B	N_B

Contoh kerja 2. Gambar 4.26

Given: $E_A = 548979.504, N_A = 6444421.068$

$$\theta_{AB} = 221^{\circ}03'00''$$

$$D_{AB} = 522.211$$

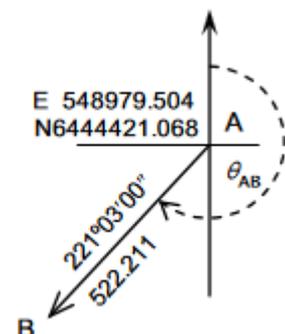
$$\text{Sin}(221^{\circ}03'00'') = -0.675617 \quad \text{Cos}(221^{\circ}03'00'') = -0.754137$$

$$\Delta E_{AB} = 522.211 \times -0.675617 = -342.945$$

$$\Delta N_{AB} = 522.211 \times -0.754137 = -393.818$$

Find: Co-ordinates of B (E_B, N_B)

	Brg/Dist	E	N
A		548979.504	6444421.068
	$221^{\circ}03'00'', 522.211$	$\Delta E -342.945$	$\Delta N -393.818$
B		548636.559	6444027.250



Gambar 4.26 Vektor Kutub

Menggunakan Fungsi POLAR dan RECTANGULAR pada Kalkulator

Kalkulator yang disetujui untuk mata kuliah teknik memiliki fungsi bawaan untuk memecahkan masalah gabungan dan polar, yang merupakan masalah konversi vektor antara

sistem koordinat persegi panjang ke sistem koordinat polar. Perhitungan Survei pada HP 10s+. HP10s+ sangat cocok untuk kursus survei karena menyimpan hasil fungsi POL(dan REC(dalam memori untuk perekaman selanjutnya atau penggunaan dalam perhitungan lanjutan.

Pengurangan Jarak yang Diukur Secara Elektronik ke Spheroid

Kami telah memeriksa berbagai aspek kesalahan yang dapat terjadi pada jarak yang diperoleh EDM, dan yang terbaik adalah memeriksa langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi jarak mentah yang diukur oleh EDM ke bidang pemetaan akhir. Di Australia, proyeksi pemetaan akhir, MGA94, didasarkan pada GDA94 menggunakan datum GRS80. Dari koordinat akhir ini, kami dapat mengubahnya ke proyeksi lain yang diperlukan. Bab 12 tentang transformasi koordinat, mengilustrasikan proses transformasi antara berbagai set koordinat. Namun, untuk menghasilkan koordinat, jarak yang diamati harus dikurangi ke bidang pemetaan, akhirnya ke MGA94.

Proses ini disebut sebagai "Pengurangan jarak ke spheroid/ellipsoid". Dalam kondisi pengamatan normal, pengukuran pada jarak hingga beberapa ratus meter, ada empat koreksi yang harus dilakukan pada jarak lereng yang diukur sebelum dimasukkan dalam perhitungan proyeksi peta. Pemetaan pada bidang lokal, tanpa memperhatikan ketinggian di atas geoid atau elipsoid.

1. Pengurangan jarak lereng menjadi jarak horizontal, seperti yang ditunjukkan sebelumnya:
 - a. Jarak horizontal = jarak lereng x SIN(Sudut Zenith)
 - b. Jarak medan datar dari titik pengamatan.

Di sinilah kita menghentikan pengurangan jarak dalam membuat rencana kita pada bidang lokal. Kelanjutan pengurangan jarak dan arah untuk pemetaan ke proyeksi adalah kewenangan surveyor. Bidang lokal dapat diperluas ke proyeksi lokal di area yang luas, dengan tujuan utama bahwa faktor skala di atas proyeksi sangat mendekati 1, dan konvergensi grid menyebar secara merata di meridian tengah. Pemetaan pada proyeksi, yang ditentukan oleh parameter proyeksi.
2. Pengurangan jarak medan datar menjadi jarak geoid (permukaan laut).
 - Penerapan koreksi ketinggian.
3. Pengurangan jarak geoid menjadi jarak elipsoid.
 - Penerapan koreksi tinggi geoid/elipsoid.
4. Penerapan faktor skala titik atau garis yang berlaku untuk jarak dari meridian tengah.

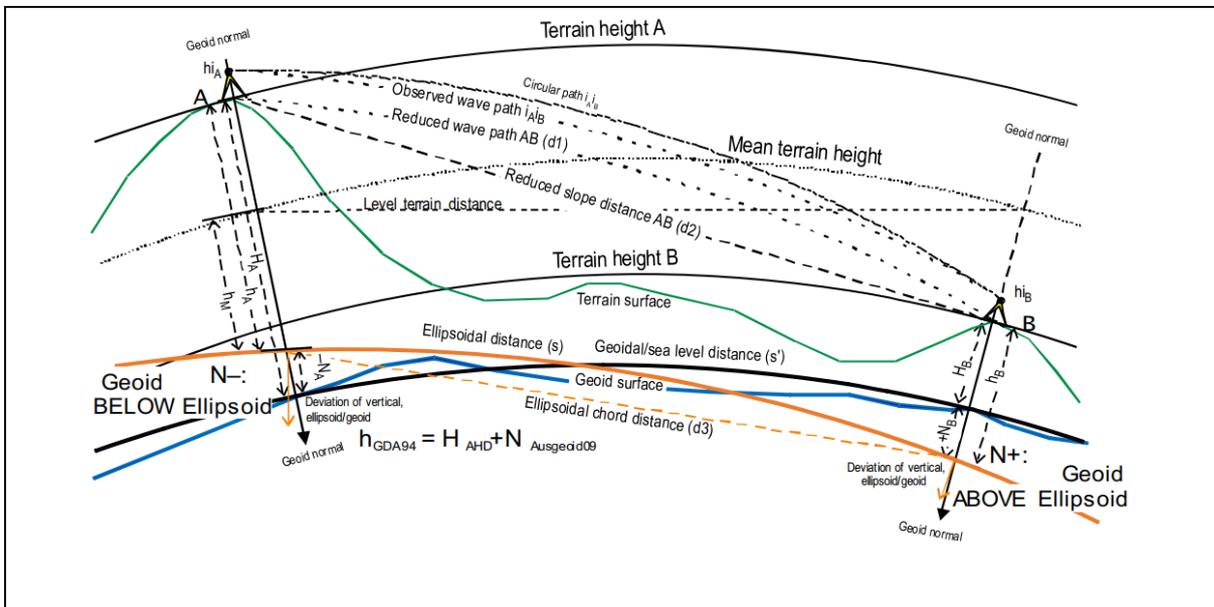
Pengurangan ke elipsoid

Pengurangan jarak lintasan gelombang, d_1 , (jarak EDM yang diamati) menjadi jarak tali busur elipsoid, d_3 , menggunakan rumus Clarke (1966):

$$d_3 = [d_2^2 - (h_A - h_B)^2] / (1 + h_A R_\alpha)(1 + h_B R_\alpha)^{(1/2)}$$

Jarak lintasan gelombang yang dikurangi, d_1 , dan jarak lereng yang dikurangi, d_2 , tidak dapat dipisahkan hingga 15 Km. Perhatikan bahwa h_A dan h_B adalah tinggi elipsoid; R_α adalah jari-

jari kelengkungan azimut garis. Gambar 4.27 mengilustrasikan hubungan antara berbagai jarak.



Gambar 4.27 Reduksi EDM Ke Ellipsoid

Nilai ketinggian pada AHD, H_A , dan H_B harus menyertakan pemisahan elipsoid/geoid N. Pada area kecil, nilai umum untuk N (dari Geoscience Australia) dan $R\alpha$ ($6.366.000$ pada $32^\circ S$) akan cukup untuk pengurangan. Jarak elipsoid, s , sama dengan jarak tali busur elipsoid, d_3 , untuk EDM kita hingga $4.000m$.

4.8 KESALAHAN DAN KEKELIRUAN PENGAMATAN

Sumber kesalahan yang paling mungkin dalam pengamatan akan berasal dari:

1. Titik yang tidak tepat: level pelat, kolimasi pemusatan yang tidak diperiksa, rakitan plummet yang rusak.
2. Pengaturan konstan prisma yang tidak tepat dalam EDM.
3. Ketinggian instrumen dan target yang tidak tepat (H_I , H_T).
4. Pengaturan meteorologi EDM yang tidak tepat.
5. Parameter pengamatan yang tidak tepat untuk jarak horizontal (H); faktor skala, koreksi C&R, koreksi permukaan laut
6. Paralaks dalam menunjuk ke target, tas jinjing dan fokus objek.
7. Kesalahan pencatatan data kotor dari layar data
8. Titik data yang diidentifikasi salah.
9. Pencatatan data titik kontrol yang salah
10. Kesalahan transkripsi dalam buku lapangan, pembentukan karakter yang buruk, pencetakan, transposisi

Ringkasan

Bab ini memperkenalkan Anda pada instrumen Total Station yang digunakan oleh surveyor untuk mengukur jarak dan sudut. Bab ini menguraikan prosedur pengukuran jarak dan sudut serta kesalahan terkaitnya. Terakhir, konsep penghitungan koordinat persegi panjang (Timur dan Utara) yang diberikan koordinat kutub (jarak dan bantalan) dan sebaliknya diperkenalkan. Perhatikan bahwa saat menghitung bantalan, penting untuk memilih kuadran yang benar dari keempat kuadran. Siswa harus memastikan mereka mempelajari bab ini secara menyeluruh karena ini membentuk dasar yang diperlukan untuk memahami bab-bab yang tersisa dari buku ini.

BAB 5 MELINTASI

5.1 PENDAHULUAN

Bab ini memperkenalkan mahasiswa pada teori dan keterampilan praktis melintasi, sebuah proses penentuan kontrol horizontal. Untuk teknik sipil dan tambang, melintasi digunakan dalam:

1. Menetapkan kontrol horizontal, yaitu posisi yang diketahui (Easting dan Northing).
2. Kontrol horizontal untuk survei topografi dan detail (yaitu pra-rekayasa) (yaitu, bagian yang akan dilakukan dalam praktik).
3. Menetapkan koordinat planar titik selama konstruksi (set-out).
4. Untuk tujuan topografi.
5. Untuk perhitungan luas dan volume
6. Kontrol tanah untuk pemetaan fotogrammetri.

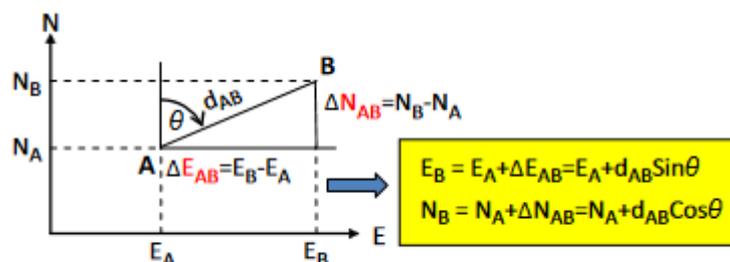
Dengan mempelajari materi Bab ini, pembaca akan:

1. Mengetahui apa yang dimaksud dengan survei kontrol dan perannya dalam teknik dan survei tambang.
2. Jelaskan apa itu lintasan dan ketahui metode lapangan serta metode komputasi yang terkait dengannya.
3. Ketahui jenis lintasan dan lakukan semua perhitungan yang diperlukan untuk memperoleh koordinat lintasan dari sudut dan jarak yang diukur.
4. Pahami kegunaan lintasan dalam Teknik Sipil.

Referensi penting meliputi Uren dan Price (2010, Bab 6), Schofield dan Breach (2007, Bab 6) dan Irvine dan Maclennan (2006, Bab 8).

5.2 DEFINISI DAN APLIKASI

Lintasan adalah teknik survei yang menggunakan Total Station (Bab 4) untuk menentukan posisi planar (Easting dan Northing: E_B dan N_B pada Gambar 5.1 di bawah) titik kontrol atau titik penetapan menggunakan sudut dan jarak yang diukur (d_{AB} dan θ di bawah). Untuk kontrol vertikal, Anda telah mempelajari teknik perataan di Bab 2.



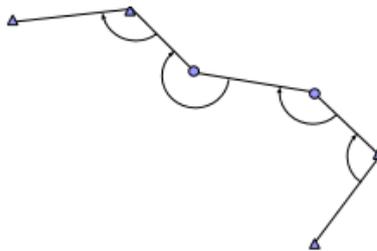
Gambar 5.1 Konsep Melintasi

Titik kontrol:

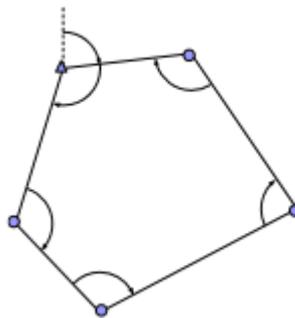
- Untuk SEMUA pekerjaan teknik sipil dan pertambangan, survei kontrol dilakukan untuk menentukan posisi titik referensi yang digunakan dalam pemetaan dan penataan.
- Untuk sebagian besar lokasi konstruksi, kontrol terdiri dari posisi vertikal dan horizontal.
- Untuk proyek teknik besar, kelengkungan Bumi harus diperhitungkan. Ini dilakukan dengan menggunakan sistem satelit navigasi global GNSS (dan akan dibahas dalam Bab 10).

Lintasan dapat terbuka atau tertutup:

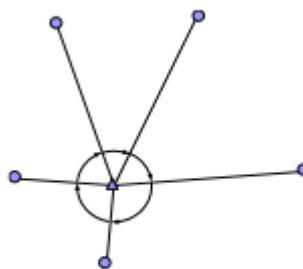
- Lintasan tertutup atau lintasan penghubung dimulai dari titik yang diketahui dan berakhir di titik lain yang diketahui (Gambar 5.2).
- Jika dimulai dan berakhir di titik yang sama, yaitu Gambar 5.3, lintasan tersebut disebut lintasan melingkar.
- Jenis lintasan lainnya termasuk lintasan radiasi, atau lintasan side shot, di mana semua titik diukur secara unik dan tidak ada redundansi (Gambar 5.4).



Gambar 5.2 Lintasan Tautan, Sudut Searah Jarum Jam



Gambar 5.3 Lintasan Loop, Sudut Searah Jarum Jam

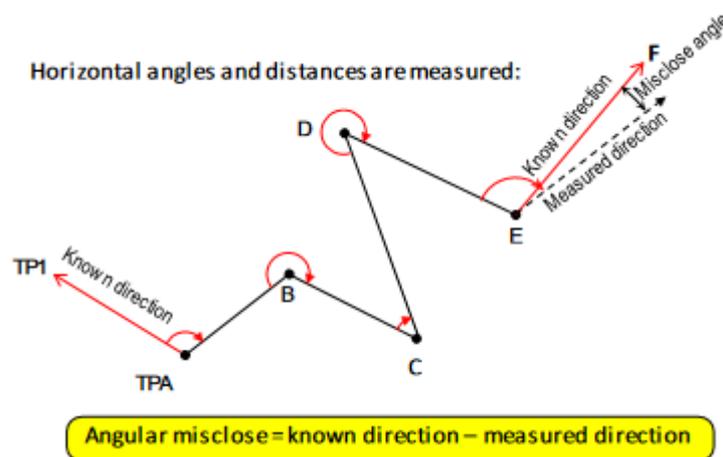


Gambar 5.4 Lintasan Radiasi

5.3 PROSEDUR LINTASAN

Prosedur lintasan memerlukan pengukuran sudut dan jarak. Total Station (Gambar. 4.1a) ditempatkan di titik TPA dan diarahkan ke target yang ditempatkan di TP1. Arah yang diketahui dari TPA-TP1 ditetapkan dalam instrumen seperti yang dijelaskan dalam Bagian 4.1. Kemudian ukur sudut TP1-TPA-B pada sisi kiri (FL) dan kanan (FR) (lihat contoh 5.1 dalam Bagian 5.4). Ukur jarak TPA-B beberapa kali. Target di B kemudian bergerak ke C, target TP1 ke TPA dan instrumen ke B. Atur bearing B-TPA (diperoleh dengan menambahkan atau mengurangi 180° ke bearing depan TPA-B).

Sekarang, ukur sudut TPA-B-C pada kedua sisi (kiri dan kanan) seperti sebelumnya, dan jarak B- C beberapa kali. Target di C kemudian bergerak ke D, yang di TPA ke B, dan instrumen ke C. Ukur sudut B-C-D dan jarak C-D seperti yang dilakukan pada langkah sebelumnya. Selanjutnya, gerakkan instrumen dan target untuk mengukur sudut C-D-E dan jarak D-E. Akhirnya, dengan Total Station di E, sudut akhir D-E-F (target yang diketahui) diukur. Sudut akhir harus berupa arah terukur E-F target yang diketahui, yang dapat dibandingkan dengan arah yang diketahui untuk mendapatkan kesalahan sudut.



Gambar 5.5 Prosedur Lintasan

Pada Gambar 5.5, titik-titik yang ditempati oleh Total Station dikenal sebagai stasiun lintasan. Stasiun tersebut dapat berupa titik sementara atau permanen. Titik-titik tersebut dapat terdiri dari:

- Pasak kayu yang ditancapkan rata dengan tanah dan dengan paku yang ditancapkan di atasnya
- Paku besar di tanah
- Paku beton
- Diukir silang dengan beton
- Jika akan digunakan nanti, stasiun-stasiun tersebut harus dirujuk atau disaksikan dengan pengukuran pita baja horizontal atau pita pengukur yang sesuai dan catatan lapangan yang diperlukan dibuat.

- f. Titik kontrol geodetik dapat digunakan dalam lintasan. Di Australia, titik-titik tersebut dikenal sebagai Standard Survey Marks (SSM). Di Curtin University, titik-titik tersebut dikenal sebagai Curtin Survey Marks (CSM).

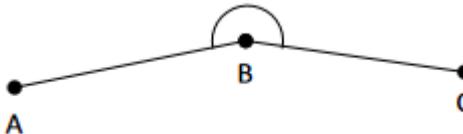
5.4 REDUKSI CATATAN LAPANGAN

Reduksi lapangan untuk lintasan melibatkan koreksi sudut dan jarak yang diukur untuk efek kesalahan acak.

- a. Sudut
- b. Kurangi pembacaan FL dan FR ke nilai rata-ratanya
- c. Ini biasanya sudah dilakukan di buku lapangan
- d. Harus berhati-hati untuk menggunakan nilai rata-rata (bukan nilai FL) untuk perhitungan lintasan—ini menekankan perlunya catatan lapangan yang rapi dan akurat.
- e. Jarak
- f. Jika pengukuran berulang dilakukan, nilai rata-ratanya harus dihitung terlebih dahulu
- g. Semua jarak yang diukur harus dikoreksi.
- h. Jika pita baja digunakan, pita tersebut harus dikoreksi untuk kemiringan, panjang, suhu, tegangan, dan kelengkungan.
- i. Jika EDM digunakan, jarak kemiringan harus dikoreksi untuk konstanta prisma, kesalahan skala, dan kesalahan siklik, serta dikurangi menjadi jarak horizontal.

Contoh 5.1 Pengukuran dan pengurangan sudut. Total Station akan diatur dan diratakan di titik B. Instrumen kemudian diarahkan ke target yang ditempatkan di titik A dan pembacaan pertama dimasukkan ke dalam instrumen seperti yang dibahas di Bagian 4.2. Pembacaan ini dicatat di sisi kiri (FL) sebagai $0^{\circ} 07' 22''$. Putar instrumen di sisi kiri (FL) agar tetap mengarah ke target di titik C. Kunci instrumen dan arahkan garis bidik untuk membagi dua bagian tengah target di titik C. Pembacaan pada instrumen adalah $192^{\circ} 23' 38''$ dan dicatat di sisi kiri (FL). Sekarang, pembacaan di sisi kiri selesai.

Buka kunci teleskop dan putar menghadap Anda. Dengan teleskop menghadap Anda, putar instrumen sehingga teleskop kembali menghadap titik C. Instrumen sekarang berada di Sisi Kanan (FR) dan pembacaan yang ditampilkan berbeda dengan FL sebesar 180° . Pembacaan ini, $12^{\circ} 23' 44''$ sekarang dicatat di bawah kolom Muka Kanan tetapi di bawah baris C. Terakhir, putar instrumen kembali ke titik awal A dan ambil pembacaan terakhir $180^{\circ} 07' 18''$ yang dicatat di bawah kolom Muka Kanan di bawah baris A. Ini melengkapi satu set pembacaan yang diukur pada kedua muka (FL dan FR).



Point	Face Left	Face Right	Mean	Angle
A	00 07 22	180 07 18	00 07 20	
C	192 23 38	12 23 44	192 23 41	192 16 21
A	87 32 35	267 32 26	87 32 31	
C	279 49 10	99 49 04	279 49 07	192 16 36

FINAL ANGLE = 192 16 29; BA = 47.580m; BC = 65.254m

Gambar 5.6 Contoh Pengukuran Sudut Pemesanan

Jika melihat lebih dekat pada pembacaan A, Gambar 5.6, Anda akan melihat bahwa perbedaan hanya terjadi pada bagian detik. Rata-rata detik ini diambil dan pembacaan muka kiri dengan rata-rata detik, yaitu, $0^{\circ}07' 20''$ dicatat di bawah nilai rata-rata muka kiri. Ini diulang untuk muka kanan dan ditunjukkan sebagai $192^{\circ}23' 41''$.

Sekarang sudut ABC yang diukur diperoleh dengan mengambil selisih antara dua nilai tengah untuk menghasilkan $192^{\circ}16' 21''$. Rangkaian pembacaan lain diambil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6 dan akhirnya nilai tengah rangkaian tersebut diambil. Beberapa pembacaan jarak juga diambil dan nilai tengahnya diambil. Sudut dan jarak kemudian digunakan dalam penyesuaian Bowditch seperti yang dibahas dalam Bagian 5.5.4.

Kesalahan Sudut

Penyesuaian lintasan dilakukan dalam 2 langkah:

- Menyeimbangkan sudut
- Penyetelan lintasan

Jika tidak ada kesalahan besar pada sudut dan semua efek sistematis telah dihilangkan dengan:

- Kalibrasi instrumen,
- Mengurangi pengamatan FL/FR ke nilai rata-ratanya,
- Perataan yang cermat,
- Pemusatan instrumen dan target yang cermat, maka hanya kesalahan acak yang akan terjadi.

Kesalahan acak menyebabkan jumlah sudut interior menyimpang dari nilai teoritis. Jumlah sudut interior lintasan harus sama

$$\Sigma \text{ sudut dalam} = (n - 2) \cdot 180$$

di mana n adalah jumlah sudut (atau sisi). Untuk instrumen yang memiliki akurasi yang dinyatakan sebesar δ dalam detik ($''$) (misalnya $1''$ untuk SET1, $5''$ untuk SET530), kesalahan sudut yang dibolehkan, ε , adalah

$$\varepsilon = \delta\sqrt{n}$$

Jika kesalahan sudut ditemukan dapat diterima, maka koreksi dapat diterapkan pada setiap sudut sehingga jumlah sudut yang disesuaikan menjadi benar. Buku teks menyarankan beberapa metode untuk menentukan koreksi

- a. Sembarangan: Tidak direkomendasikan.
- b. Koreksi yang lebih besar untuk sudut yang diamati dalam kondisi buruk: subjektif.
- c. Nilai rata-rata (mean): logis dan direkomendasikan.

Perlu dicatat bahwa koreksi tidak boleh diterapkan secara proporsional dengan ukuran sudut, karena kesalahan karena penunjuk, pembacaan, dan pemusatan instrumen dan target tidak bergantung pada ukuran sudut. Jika kesalahan sudut total adalah $\pm\epsilon$, maka koreksi yang diterapkan pada setiap sudut diberikan oleh:

$$c = \mp \frac{\epsilon}{n}$$

Perhatikan tanda negatif/positif! Tanda ini merupakan kebalikan dari tanda plus/minus dari kesalahan penutupan, ϵ , yang menunjukkan bahwa koreksi merupakan tanda yang berlawanan dari kesalahan penutupan. Biasanya koreksi dibulatkan ke detik terdekat. Karena akumulasi kesalahan pembulatan, satu atau dua koreksi mungkin harus (secara acak) dimodifikasi sebesar $\pm 1''$ sehingga jumlah sudut yang disesuaikan menjadi benar. Jumlah sudut yang disesuaikan harus dihitung setelahnya sebagai pemeriksaan.

Perhitungan Bearing dan Koordinat

Bearing setiap garis di sekitar lintasan dihitung searah jarum jam. Dua metode dapat digunakan, yaitu:

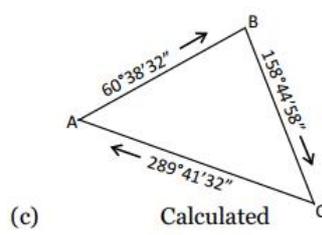
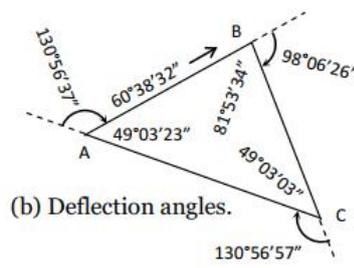
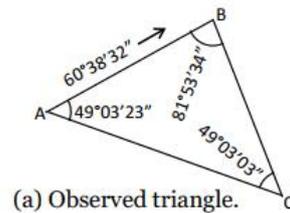
- a. Menghitung bearing belakang dan mengurangkan sudut interior, misalnya, $(180^\circ + 60^\circ 38' 32'') - 81^\circ 53' 34'' = 158^\circ 44' 58''$.
- b. Pembelokan sudut interior (lihat contoh di bawah).

Contoh 5.2 (Metode pembelokan sudut interior): Ini dilakukan dalam tiga langkah:

- 1. Langkah 1: Arah awal dan sudut interior searah jarum jam diberikan.

$$\begin{aligned} AB &= 60^\circ 38' 31'' \\ \angle A &= 49^\circ 03' 23'' \\ \angle B &= 81^\circ 53' 34'' \\ \angle C &= 49^\circ 03' 03'' \end{aligned}$$

- 2. Langkah 2: Sudut defleksi dihitung dari sudut interior searah jarum jam (Sudut defl. = $180^\circ -$ sudut int.).



Gambar 5.7 Sudut Yang Diamati, Sudut Defleksi Dan Bantalan

$$\begin{aligned}
 B' &= 180^\circ - 81^\circ 53' 34'' = 98^\circ 06' 26'' \\
 C' &= 180^\circ - 49^\circ 03' 03'' = 130^\circ 56' 57'' \\
 A' &= 180^\circ - 49^\circ 03' 23'' = 130^\circ 56' 37''
 \end{aligned}$$

3. Langkah 3: Perhitungan bearing (Bearing sebelumnya + sudut defleksi, misal BC = AB + deflB)

$$\begin{aligned}
 BC &= 60^\circ 38' 32'' + 98^\circ 06' 26'' = 158^\circ 44' 58'' \\
 CA &= 158^\circ 44' 58'' + 130^\circ 56' 57'' = 289^\circ 41' 55'' \\
 AB &= 289^\circ 41' 55'' + 130^\circ 56' 37'' = 420^\circ 38' 32'' \\
 AB - 360^\circ &= 60^\circ 38' 31''
 \end{aligned}$$

(Selalu tambahkan sudut terakhir untuk memeriksa arah awal.)

Traverse Misclose: Penyesuaian Bowditch

Untuk menghitung Eastings dan Northings (EB dan NB) stasiun B berdasarkan stasiun A, ukur jarak d_{AB} dan sudut θ (lihat Contoh 5.1 dan Gambar 5.1). Perhitungan ini dilakukan untuk setiap garis lintasan. Mirip dengan levelling loop di mana $\Delta H = 0$, dalam lintasan, jumlah ΔN dan ΔE dari semua n sisi lintasan harus sama dengan nol, yaitu,

$$\sum_{i=1}^n \Delta E_i = 0, \quad \sum_{i=1}^n \Delta N_i = 0$$

Karena kesalahan acak, jumlahnya akan menyimpang dari nol, yang menyebabkan kesalahan penutupan linier yaitu,

$$\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \Delta E_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n \Delta N_i\right)^2} \neq 0$$

Kesalahan penutupan linier fraksional, rasio antara jumlah panjang sisi dengan panjang kesalahan penutupan, memberikan ukuran presisi lintasan.

$$1 \text{ dalam } \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \Delta E_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n \Delta N_i\right)^2}}$$

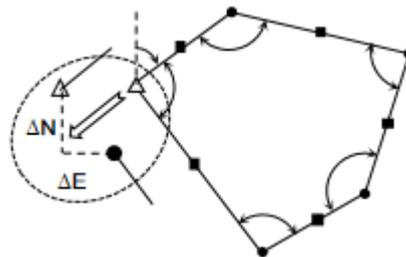
Setiap garis lintasan disesuaikan dengan koreksi yang berlawanan tanda dengan kesalahan penutupan. Pertanyaan kemudian muncul tentang bagaimana kesalahan penutupan lintasan secara keseluruhan harus didistribusikan ke setiap garis. Pilihannya meliputi penyesuaian yang

sama, metode transit, metode kuadrat terkecil, atau metode Bowditch. Dalam metode Bowditch, koreksi untuk setiap garis proporsional dengan panjang sisi. Ini adalah metode yang kami rekomendasikan meskipun perangkat lunak modern menggabungkan solusi kuadrat terkecil.

Metode Bowditch:

$$c_{E_i} = \mp d_i \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{\sum_{i=1}^n d_i}, c_{N_i} = \mp d_i \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i}{\sum_{i=1}^n d_i}$$

Perhatikan bahwa koreksi memiliki tanda yang berlawanan dengan kesalahan pengungkapan. Setelah menyesuaikan setiap sisi, jumlah ΔN dan ΔE harus dihitung sebagai pemeriksaan dan keduanya harus sama dengan nol.



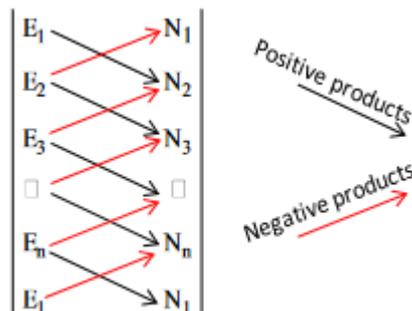
Gambar 5.8 Kesalahan Penutupan Linier

Perhitungan Luas

Luas gambar harus dihitung dan dilaporkan dalam m² dan ha. Luas dihitung menggunakan metode koordinat (lihat Bab 3). Rumus umum diberikan sebagai:

$$Area = \left| \frac{1}{2} \left(\sum^n (E_i N_{i+1} - E_{i+1} N_i) \right) \right|$$

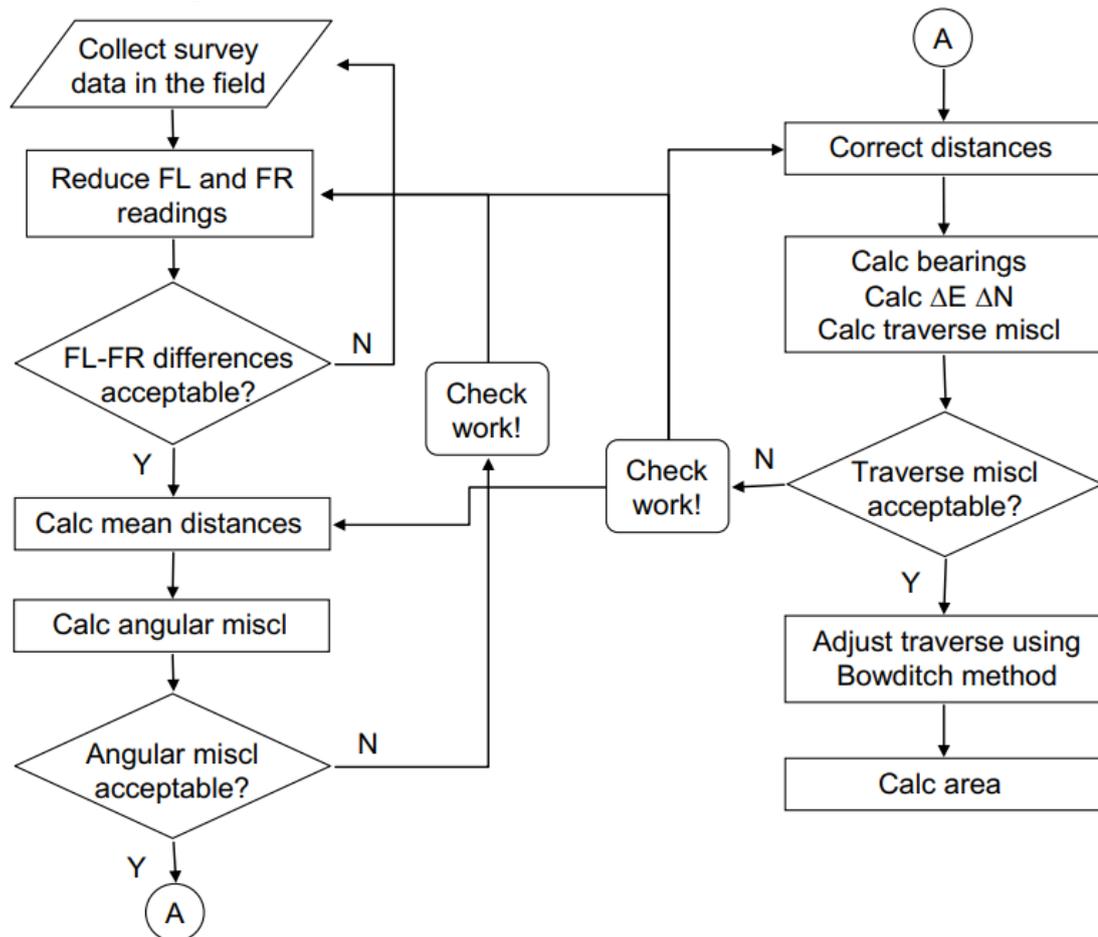
Angka tersebut harus kembali mendekati titik awal, yaitu, E1 dan N1 harus muncul dua kali. Rumusnya dihitung sebagai (Gambar 5.9):



Gambar 5.9 Metode Perkalian Silang Matriks

Ingatlah untuk membagi dua jawaban Anda. Hasilnya bisa positif atau negatif, tergantung pada urutan koordinat. Luas selalu positif. Beberapa teks menggunakan urutan kolom N, lalu E, untuk memberikan jawaban positif dalam lintasan searah jarum jam. Namun, format kolom yang disajikan mempertahankan urutan koordinat E, N normal yang digunakan dalam lintasan, tetapi memberikan jawaban negatif dalam lintasan searah jarum jam. Ini menghemat kesalahan transkripsi.

Ringkasan Perhitungan Lintasan



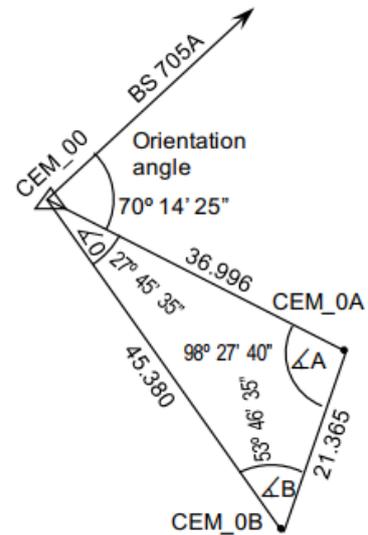
Gambar 5.10 Ringkasan Perhitungan Lintasan

5.5 CONTOH: PENATAAN DAN PENYESUAIAN TITIK KONTROL UNTUK KONTROL LOKASI

Titik kontrol, CEM_00, Titik tersebut ditentukan dengan mengamati 705A dan C400. Kutipan berikut dari buku lapangan merujuk ke bagian belakang 705A. Setelah mengamati model elevasi digital (DEM) untuk area desain, diperlukan penempatan titik kontrol lokasi yang dapat digunakan oleh kontraktor lain. Untuk latihan praktik ini, Anda akan menetapkan dua titik kontrol tambahan, CEM_0A dan CEM_0B Gambar 5.11 menggunakan titik kontrol awal Anda, CEM_00, yang ditetapkan dalam Praktik Lapangan A2 – 3 - 1. Set prisma dengan pelat target akan disiapkan pada tripod di atas titik kontrol CEM_0A dan CEM_0B.

Segitiga titik yang telah ditetapkan akan diamati sepenuhnya dengan membaca arah dan jarak pada kedua sisi (FL dan FR) Total Station di setiap titik kontrol. Pengamatan dari setiap titik kontrol akan dilakukan menggunakan teknik pemusatan semi-paksa di mana instrumen dan target ditukar di antara tribrach tanpa mengganggu pengaturan tripod di atas titik kontrol.

Orientasi jaringan kontrol akan ditetapkan dari pengamatan pandangan belakang (BS) ke 705A. Pada titik kontrol awal, CEM_00, sertakan pengamatan sisi kiri (FL)/sisi kanan (FR) ke titik orientasi BS Anda dalam putaran pengamatan Anda ke dua titik kontrol yang diperkenalkan lainnya. Ini akan memungkinkan sudut rata-rata antara BS dan titik kontrol pertama dihitung, dan arah ke titik kontrol pertama ditetapkan.



Gambar 5.11 Pembentukan titik kontrol baru

Pengamatan Buku Lapangan dan Reduksi

Tabel 5-1 Perhitungan sudut dan jarak rata-rata dari buku lapangan, bagian a.

AT/TO		HAR	ZA	S	H	V	Remarks	
AT	CEM_00	HAR			RL	16.035	HI = 1.585	
705A	L	47 51 50					B Sight	
	Mean	47 51 53						
705A	R	227 51 55					B Sight	
	Incl. Angle	70 14 27					Orientation angle to 705A	
CEM_0A	L	118 06 15	95 06 28	37.144	36.996	-3.307	HT = 1.563	
	Mean	118 06 20					RL A = RL CEM_00+HI+V-HT = 12.75	
CEM_0A	R	298 06 25	264 53 32	37.144	36.997			
	Incl. Angle	27 45 35					Angle at _00	
CEM_0B	L	145 51 50	95 16 04	45.571	45.379	-4.184	HT = 1.576	
	Mean	145 51 55					RL B = RL CEM_00+HI+V-HT = 11.86	
CEM_0B	R	325 52 00	264 43 34	45.572	45.380			
AT	CEM_0A	Change station to CEM_0A						HT = 1.563
CEM_0B	L	0 01 25	92 21 02	21.383	21.365	-0.877	HT = 1.576	
	Mean	00 01 30						
CEM_0B	R	180 01 35	267 38 58	21.382	21.364			
	Incl. Angle	98 27 40					Angle at _0A	
CEM_00	L	98 29 04	84 53 31	37.143	36.995	3.307	HI = 1.585	
	Mean	98 29 10						
CEM_00	R	278 29 16	275 06 29	37.144	36.996			
AT	CEM_0B	Change station to CEM_0B						HT = 1.576
CEM_00	L	0 01 25	84 43 57	45.573	45.381	4.184	HI = 1.585	
	Mean	00 01 30						
CEM_00	R	180 01 35	275 06 04	45.572	45.380			
	Incl. Angle	53 46 35					Angle at _0B	
CEM_0A	L	43 48 01	87 38 58	21.384	21.366	0.877	HT = 1.563	
	Mean	43 48 05						
CEM_0A	R	233 48 09	272 21 02	21.383	21.365			
	Σ angles =	179 59 50						

Metode Penyesuaian Jaringan

Pada setiap titik kontrol, hitung arah dan jarak sebagai berikut;

- a. Dapatkan arah rata-rata ke setiap titik kontrol dari rata-rata pengamatan FL/FR,
- b. Dapatkan sudut rata-rata antara titik kontrol dari perbedaan arah rata-rata,
- c. Dapatkan sudut vertikal rata-rata (sebagai jarak zenith) dari pengamatan FL/FR,
- d. Dapatkan jarak kemiringan rata-rata setiap pengamatan,
- e. Hasil jarak horizontal dan perbedaan tinggi vertikal ke dua target titik kontrol lainnya.
- f. Dapatkan RL dari dua titik kontrol dari titik kontrol awal.

Untuk jaringan, hitung sudut internal;

- a. Jumlah sudut internal rata-rata,
- b. Kesalahan sudut untuk jaringan, dibandingkan dengan jumlah sudut internal gambar bidang,
- c. Sudut internal yang disesuaikan setelah distribusi kesalahan sudut yang merata

Untuk jaringan, hitung bantalan yang disesuaikan;

- a. Bantalan garis kontrol pertama dengan penambahan sudut rata-rata ke bantalan BS,
- b. Bantalan garis kontrol lainnya dengan penambahan sudut internal yang disesuaikan,
- c. Lakukan pemeriksaan bantalan garis kontrol awal menggunakan sudut internal terakhir.

Untuk jaringan, hitung dan sesuaikan kesalahan koordinat;

- a. Perbedaan koordinat ΔE dan ΔN dari bantalan yang disesuaikan dan jarak horizontal rata-rata,
- b. Jumlah ΔE dan ΔN untuk menghitung misclose dalam ΔE dan ΔN ,
- c. Koreksi misclose dalam ΔE dan ΔN , didistribusikan oleh penyesuaian Bowditch,
- d. ΔE dan ΔN yang dikoreksi untuk jaringan,
- e. Koordinat yang disesuaikan dari setiap titik kontrol dari koordinat titik kontrol awal Anda,
- f. Rasio misclose yang dihitung dari vektor misclose dan jumlah jarak jaringan.

Misclose sudut didistribusikan secara merata di antara setiap sudut internal. Bagian 5.5

Misclose koordinat didistribusikan secara proporsional dengan jarak jaringan individual.

Koreksi Misclose Sudut

Tabel 5-2 Koreksi kesalahan sudut, bantalan yang dikoreksi. Bagian b dan c.

AT CEM_00	HAR				
Brg to BS 705A	47 51 53	Calculated BRG from CEM_00 to 705A			
∠BS to A	70 14 27	Mean angle at CEM_00 between BS and CEM 0A			
BRG 00 - A	118 06 20			118 06 20	Brg_00 - _0A
BRG A - 00				298 06 20	Back BRG
Mean observed angle		correction	Corr angle	Corr BRG	
∠A	98 27 40	+4	98 27 44		
BRG A - B				199 38 36	BRG_0A - _0B
BRG B - A				19 38 36	Back BRG
∠B	53 46 35	+3	53 46 38		
BRG B - 00				325 51 58	BRG_0B - _00
BRG 00 - B				145 51 58	Back BRG
∠00	27 45 35	+3	27 45 38		
BRG 00 - A				118 06 20	Check BRG_00 - _0A
SUM Obs angles	179 59 50	<i>Too small, 10" has to be added to make 180°</i>			
Correct Sum	180 00 00				
Misclose	-00 00 10				
Correction	+10"	Σ = +10"			

Perhatikan bahwa misclose sudut didistribusikan hampir merata oleh nilai integer. Karena cara gambar telah dilintasi dalam urutan searah jarum jam (00 – A – B – 00), sudut yang disesuaikan dikurangi dari bantalan belakang individual. Melintasi dalam arah berlawanan arah jarum jam (00 – B – A – 00) akan memungkinkan sudut yang disesuaikan untuk ditambahkan.

Koordinat yang Disesuaikan menggunakan Penyesuaian Bowditch

Penyesuaian koordinat proporsional dalam Easting dan Northing disebut koreksi dan memiliki SIGN yang berlawanan dari misclose. Hitung rasio koreksi atau konstanta $v = \left(\frac{-misclose}{\Sigma D}\right)$ yang dapat disimpan dalam memori. Dapat diambil dengan mudah dan dikalikan dengan setiap jarak lintasan untuk menghitung penyesuaian $v_n = \left(\frac{-misclose}{\Sigma D}\right) d_n$. Ini membantu menghindari kesalahan penekanan tombol yang terkait dengan $v_n = \left(\frac{-misclose}{\Sigma D}\right) d_n$ metode misclose. Perhatikan TANDA koreksi dan pastikan Anda telah menerapkannya dengan benar pada perbedaan koordinat, termasuk tandanya.

Tabel 5-2 merinci hasil dari

- Menghitung perbedaan koordinat yang tidak disesuaikan dari bearing yang disesuaikan dan jarak horizontal rata-rata yang diamati. Jumlah jarak.
- Menjumlahkan perbedaan koordinat yang tidak disesuaikan untuk menemukan misclose linier. Menghitung vektor dan rasio misclose.
- Mendistribusikan misclose sebagai koreksi ke setiap set koordinat yang tidak disesuaikan secara proporsional dengan jarak lintasan individual. Jumlah koreksi sama dengan misclose negatif.
- Menjumlahkan koordinat yang tidak disesuaikan dan koreksi; memastikan koordinat yang disesuaikan tertutup.

Tabel 5-3 Penyesuaian Bowditch terhadap perbedaan koordinat. Koordinat yang disesuaikan. Bagian d.

		Adjusted coordinates			E	N	Re-
CEM_00					354.303	7442.780	
	<i>Adj. BRG</i>	<i>H. DIST</i>	<i>dE</i>	<i>dN</i>			
00 - A	118 06 20	36.996	32.663	-17.429			
		<i>Correction</i>	0.004	-0.004			
CEM0_A	<i>Corrected dE & dN</i>		32.638	-17.443	386.491	7425.347	
A - B	199 38 36	21.365	-7.182	-20.122			
		<i>Correction</i>	0.003	-0.002			
CEM0_B	<i>Corrected dE & dN</i>		-7.180	-20.124	379.761	7405.223	
B - 00	325 51 58	45.380	-25.464	37.562			
		<i>Correction</i>	0.006	-0.006			
CEM_00	<i>Corrected dE & dN</i>		-25.458	37.557	354.303	7442.780	<i>check</i>
<i>Sum network distance</i>		103.741					
	<i>Misclose</i>	$\Sigma dE \ \& \ \Sigma dN$	-0.013	0.012	<i>Sum of coordinate differences</i>		
	<i>Corrections; v (nu)</i>	$\Sigma vE \ \& \ \Sigma vN$	0.013	-0.012	<i>Sum of coordinate corrections</i>		
	<i>Misclose vector dist</i>	0.017	<i>Direction</i>	313.3°			
	<i>Misclose ratio</i>	1:5947					
	<i>Correction vE/m</i>	vE/m	1.223E ⁰⁶				
	<i>Correction vN/m</i>	vN/m	-1.154E ⁰⁶				

Perhatikan bahwa kesalahan penutupan koordinat didistribusikan hampir proporsional dengan jarak lintasan lintasan dengan nilai integer. Kesalahan penutupan dalam dE dan dN adalah selisih antara koordinat akhir dan awal. Tanpa penyesuaian, nilai koordinat akhir untuk CEM_0 akan menjadi 354.290 dan 7442.792. Ini menunjukkan bahwa 0,013 (13 mm) harus ditambahkan ke koordinat E dan 0,012 (12 mm) dikurangi dari koordinat N untuk menutup gambar.

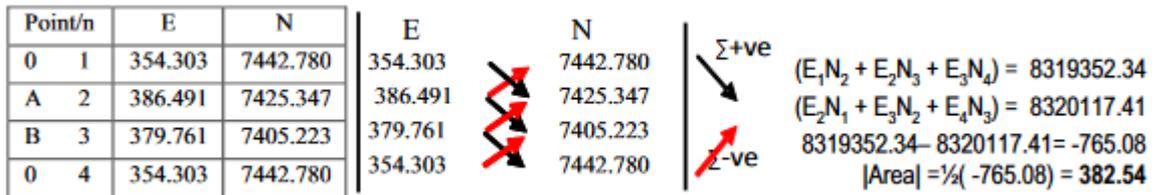
Perhitungan LUAS dengan Metode Koordinat

Setelah penyesuaian selesai, LUAS gambar dihitung dengan metode koordinat. Karena berbentuk segitiga, sejumlah metode menyajikan dirinya sendiri. Metode ini tidak berskala baik untuk simpul yang bertambah (poligon) dan secara umum perhitungan luas dengan koordinat digunakan. Kelemahannya adalah, selain perhitungan ulang yang independen, tidak ada pemeriksaan hasil. Karena berbentuk segitiga, ada empat set koordinat pada gambar tertutup saat kita kembali ke titik awal.

$$Area = \left| \frac{1}{2} \left(\sum^n (E_i N_{i+1} - E_{i+1} N_i) \right) \right|$$

Hal ini diwujudkan dengan membentuk matriks koordinat dan perkalian silang.

$$Luas = \frac{1}{2}(E_1N_2 - E_2N_1 + E_2N_3 - E_3N_2 + E_3N_4 - E_4N_3),$$



Gambar 5.12 Perhitungan Luas Dengan Matriks

LUAS = 382,54

Tidak ada cara independen untuk memeriksa hasilnya. Hanya perhitungan ulang.

Perhitungan Luas dengan Koordinat Bujur Ganda

Metode luas dengan koordinat bujur ganda menggunakan rumus umum:

$$2 \text{ Area} = \sum_{p=1}^n (E_{p+1} - E_p)(N_p + N_{p+1}) \text{ dimana } (E_{p+1} - E_p) = \delta E \text{ dan } (N_p + N_{p+1}) = \Sigma N$$

$$2 \text{ Area} = \sum_{p=1}^n (N_{p+1} - N_p)(E_p + E_{p+1}) \text{ dimana } (N_{p+1} - N_p) = \delta N \text{ dan } (E_p + E_{p+1}) = \Sigma E$$

Tabel 5-4 Luas wilayah berdasarkan koordinat bujur ganda.

Column	1	2	3	4	Inner	Outer
Point/p	$E/\delta E^S$	$N/\delta N^S$	ΣE^S	ΣN^S	2 x 3	1 x 4
0 1	354.303	7442.780				
Differences	32.188	-17.443	740.794	14868.127	-12914.26	478575.27
A 2	386.491	7425.347				
	-6.730	-20.124	766.252	14830.570	-15420.06	-99809.74
B 3	379.761	7405.223				
	-25.458	37.557	734.064	14848.003	27569.24	-378000.46
0 4	354.303	7442.780				
				2 Area =	-765.08	765.08
				Area =	382.54	

Setelah penyesuaian Bowditch selesai, perbedaan koordinat yang disesuaikan di Easting dan Northing tersedia untuk perhitungan garis bujur ganda. Jumlah koordinat Easting dan Northing yang disesuaikan di sebelahnya ditabulasikan dalam Tabel 5.4.

$$2 \text{ Area} = \sum_{p=1}^n (N_{p+1} - N_p)(E_p + E_{p+1}) \Rightarrow \sum_{p=1}^n (\delta N^S)(\Sigma E^S)$$

2A = jumlah produk dalam, kolom 2 dan 3

$$2 \text{ Area} = \sum_{p=1}^n (E_{p+1} - E_p)(N_p + N_{p+1}) \Rightarrow \sum_{p=1}^n (\delta E^S)(\Sigma N^S)$$

Periksa. 2A = jumlah produk luar, kolom 1 dan 4. $2A = (-17,443 \times 740,794) + (-20,124 \times 766,252) + (37,557 \times 734,064) = -765,075$. Perhitungan pemeriksaan: $2A = (32,188 \times 14868,127) +$

$(-6,730 \times 14830,570) + (-25,458 \times 14848,003) = 765,075$ |Luas| = $\frac{1}{2}(765,075) = 382,578$. Perhitungan pemeriksaan harus menghasilkan hasil yang sama dengan tanda yang berbeda. Ini adalah cara independen untuk memeriksa hasil.

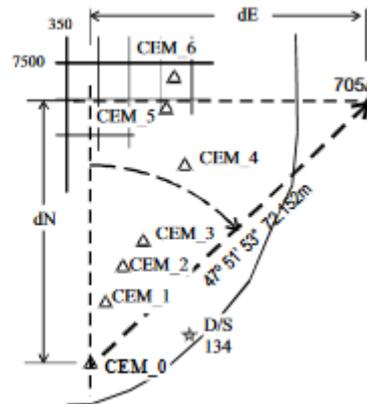
Contoh Perhitungan Lapangan.

Contoh ini berfungsi dengan ekstrak khas dari buku lapangan Anda. Anda telah:

1. Mengarahkan TS Anda dengan menghitung arah dari CEM_0 ke 705A dan memasukkannya ke dalam TS menggunakan input HAR. Gambar 5.13 menunjukkan perhitungannya.

```

The JOIN, CEM_0 to 705A
Calculate:
Brg, Dist CEM_0 to 705A
  705A  407.808  7491.205
- CEM_0  354.303  7442.800
dE, dN    53.505   48.405
Tan(Angle) = 53.505/48.405 = 1.5054
Angle = Atan(1.5054) = 47.8648 0186°
BRG = 47° 51' 53" (Angle in Quad I)
Dist =  $\sqrt{(53.505^2 + 48.405^2)}$ 
      =  $\sqrt{5205.881}$ 
DIST = 72.152
    
```



Gambar 5.13 Hitung JOIN Dari CEM_0 Ke 705A Untuk Orientasi

2. Diamati posisi bidik belakang (BS) yang mengarah ke objek referensi (RO), dalam hal ini sudut tenggara gedung 105, hanya untuk arah, untuk menetapkan orientasi untuk praktik lapangan 4.
3. Diamati posisi, sudut zenith, dan jarak lereng ke DH3 dan grid 350E, 7500N. Gabungkan CEM_0 ke 705A adalah perhitungan posisi yang akan ditetapkan untuk pembacaan sudut horizontal (HAR) di Total Station (TS).

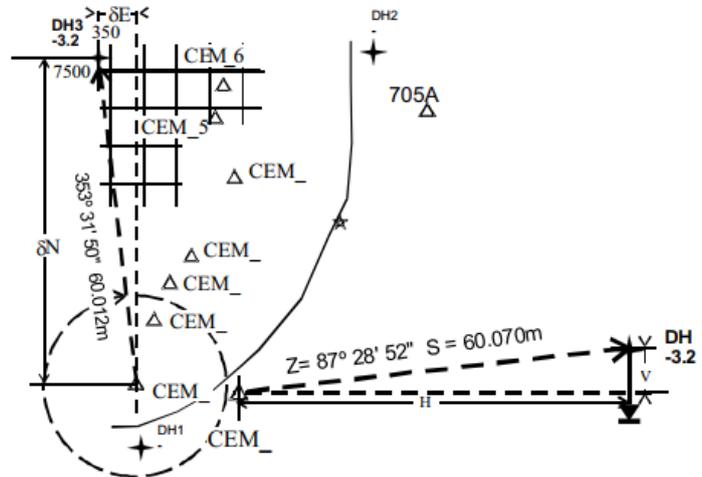
Tabel 5.5 Pengamatan buku lapangan.

Total Station Observations				Task: Obs.: JDW		Book-er: BC	Date: 21/08/14
Control orientation, BS and pickup							Page: 1 / 5
At STN: CEM_0		HI = 1.545	Obs. set-up. PC-30 ppm 5				
STN	Face	HAR	VA/ZA	S. dist	H	V	HT
705A	L	47 51 53					Brg for site control
SE 105	L	19 27 48					Dir only BS RO for control
DH3	L	353 31 50	87 28 52	60.070			HI Collar DH3. -3.2
Grid	L	356 30 10	87 39 50	58.648			HI 350E, 7500

4. Polar dari CEM_0 ke DH3 adalah rangkaian perhitungan yang digunakan untuk menemukan koordinat dasar DH3.
5. Gunakan data untuk menghitung level tereduksi (RL) dari persimpangan grid pada 350E, 7500N.

Gambar 5.14 menunjukkan reduksi data FB.

The POLAR, CEM_0 to DH3
 At: CEM_0 354.303 7442.800 16.06
 Calculate: Coordinates DH3 from FB
 Brg CEM_0 to DH3: 353° 31' 51"
 ZA CEM_0 to DH3: 87° 28' 52"
 S CEM_0 to DH3: 60.070 (slope dist)
 1. Find H dist & V dist from ZA and S
 $H = S \sin(ZA) = 60.07 \sin(87\ 28\ 52)$
 $= 60.07 \times 0.99903 = 60.012$
 $V = S \cos(ZA) = 60.070 \cos(87\ 28\ 52)$
 $= 60.070 \times 0.04395 = 2.640$
 2. Find dE & dN from Brg & H distance
 $dE = H \sin(Brg) = 60.012 \sin(353\ 31\ 51)$
 $= 60.012 \times -0.11267 = -6.762$
 $dN = H \cos(Brg) = 60.012 \cos(351\ 31\ 51)$
 $= 60.012 \times 0.99363 = 59.630$



The POLAR, CEM_0 to DH3
 At: CEM_0 354.303 7442.800 16.06
 3. Find E & N of DH3 from dE & dN
 $E_{DH3} = E_{CEM_0} + dE$
 $= 354.303 + (-6.762) = 347.54$
 $N_{DH3} = N_{CEM_0} + dN$
 $= 7442.800 + 59.630 = 7502.43$
 4. Find RL & seam level at DH3
 $RL_{DH3} = RL_{CEM_0} + V (HT = HI)$
 $= 16.06 + 2.64 = 18.70$
 5. Find RL seam from $RL_{DH3} + \text{depth}$
 $RL \text{ seam} = RL_{DH3} + \text{depth}$
 $= 18.7 - 3.2 = 15.5$

6. Similarly, CEM_0 to 350,7500
 At: CEM_0 354.303 7442.800 16.06
 $H = S \sin(ZA) = 58.648 \sin(87\ 39\ 50)$
 $= 58.600$
 $S = S \cos(ZA) = 58.648 \cos(87\ 39\ 50)$
 $= 2.390$
 $dE = H \sin(Brg) = 58.6 \sin(356\ 30\ 10)$
 $= -3.574$
 $dN = H \cos(Brg) = 58.6 \cos(356\ 30\ 10)$
 $= 58.490$
 $E = 354.303 + (-3.574) = 350.728$
 $N = 7442.8 + 58.49 = 7501.29$
 $RL = 16.06 + 2.39 = 18.45$

Gambar 5.14 Pengurangan Pengamatan FB Menjadi DH3 Dan 350E, 7500N

DH3; E347.54, N 7502.43, inversi lubang, RL = 15.5m.

Koordinat OP dari E350, N7500 telah dihitung sebagai E350.728, N7501.29. Ini sekarang menghasilkan teka-teki status OP, yang mungkin merupakan batas sewa. Apakah Anda menyediakan titik kontrol lain di E350, N7500 untuk pekerjaan mendatang? Atau apakah Anda menerima pergeseran $dE = 0.728\text{m}$, $dN = 1.29\text{m}$. Tentu saja, OP tidak boleh "dipindahkan" ke lokasi baru. Situasinya mungkin harus diputuskan oleh surveyor berlisensi jika jabatan tersebut berkaitan dengan batas sewa.

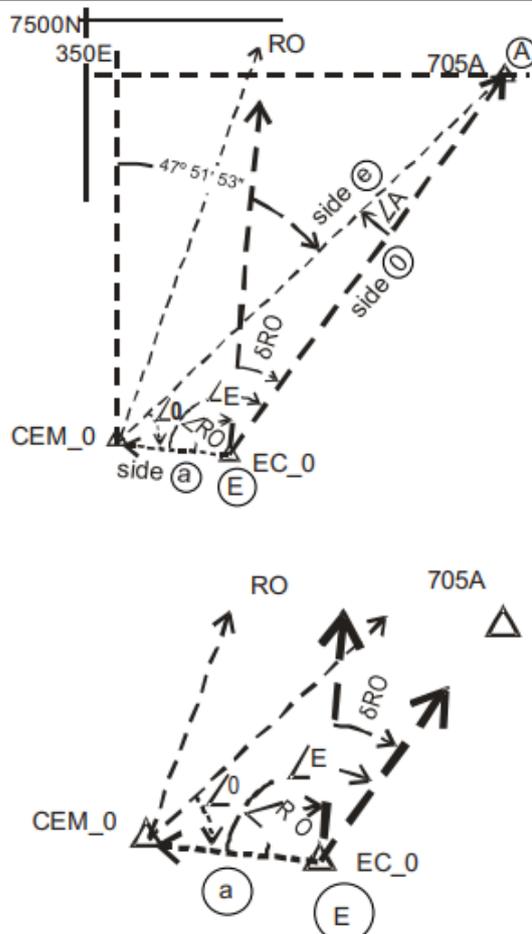
Stasiun "eccy". Tidak Memahami Intinya?

Terkadang pengamatan tidak dapat dilakukan dari stasiun kontrol yang diperlukan. Hunian dapat ditolak karena pertimbangan akses, pengguna lain, dll. Ada sejumlah cara untuk mengatasi masalah tersebut. Semuanya bergantung pada geometri stasiun dan pengukuran yang dapat Anda lakukan. Di stasiun eksentrik mana pun, lakukan pengamatan sebanyak mungkin ke stasiun kontrol. Bearing dari stasiun kontrol, CEM_0, ke RO (Back Sight) diketahui dari sesi pengamatan sebelumnya, serta bearing dan jarak yang dihitung ke stasiun kontrol, 705A. Pada kunjungan berikutnya, CEM_0 terlihat, tetapi tidak dapat ditempati.

Stasiun eksentrik, EC_0, dibuat di tempat CEM_0 dan 705A terlihat. Contoh berikut mengilustrasikan metode penentuan bearing ke Objek Referensi (RO) berdasarkan pengamatan berikut di stasiun eksentrik EC_0: Metode terbaik adalah menunjuk ke CEM_0 dan menetapkan 0° 00' 00" pada TS (0 SET), sudut dapat dibaca langsung dari mesin. Sudut, ∠RO dan ∠E, antara stasiun yang diketahui, CEM_0, RO, dan 705A. ∠δRO = ∠E - ∠RO. Jarak, a, dari eksentrik ke stasiun yang diketahui (CEM_0 ke EC_0) telah diukur. Pencatatan yang cermat akan berhasil. Tujuan latihan adalah menemukan, dengan menerapkan aturan Sin: $a/\sin A = b/\sin B = c/\sin C$ untuk sudut dan sisi:

- a. Koordinat stasiun eksentrik,
- b. Bearing dari stasiun eksentrik ke RO.

Total Station Observations Task: <i>Eccy obs at EC_0 to CEM_0. Find new Brg to NE105</i>					Obs.: JDW	Booker : BC	Date: 28/08/14
At STN: EC_0	HI = 1.55	Obs. set-up. PC-30 ppm 7			Page: 2 / 5		
STN	Face	HAR	VA/Z.A	S. dist	H	V	HT
CEM_0	L	0 00 00			15.3		Tape dist. EC_0 to CEM_0
NE 105	L	37 19 42					Dir only BS RO for control
705A	L	47 51 53					Dir. only



Eccentric observations from EC_0 to CEM_0, RO, 705A.
 From Station diagram, by calculation
 Brg, Dist CEM_0 to 705A
 Brg = 47° 51' 53", Dist = 72.152 side (e)
 Brg, CEM_0 to RO (Bld 105)
 Brg = 37° 19' 42". No distance
 Observations at EC_0 (E)
 Angle E = 120 25 12 ∠E
 Angle RO = 87 48 36 ∠RO
 Angle δRO between RO and 705A
 δRO = ∠E - ∠RO = 32 36 36
 Measured Ecc. Offset distance between EC_0 and CEM_0, a = 15.3
 Solve for angle A **sin rule** (sin(A)/a = Sin(E)/e)
 Sin(A) = 15.3 * sin(120 25 12) / 72.152
 Angle A = 10 32 11 ∠A
 Angle 0 (at CEM_0) = 180 - 120 25 12 - 10 32 11
 Angle 0 = 49 02 37 ∠0
 Dist EC_0 to 705A, side (0) by sin rule
 0 = e Sin(0) / Sin(E) = 72.152 * sin(49 02 37) / sin(120 25 12)
 0 = 63.188 side (0)
 Coordinates EC_0 (POLAR)
 Brg CEM_0 to EC_0 = Brg CEM_0 to 705A + ∠0
 Brg = 47 51 53 + 49 02 37
 Brg = 96 54 30
 Dist = 15.3 (measured side (a))
 dE = 15.189, dN = -1.840
 E_{EC_0} = 354.303 + 15.189 = 369.492
 N_{EC_0} = 7442.300 + (-1.810) = 7440.960
 Brg 705A to CEM_0 = 227 51 53 (back bearing)
 Brg 705A to EC_0 = 227 51 53 - 10 32 11 (∠A)
 Brg TO EC_0 = 217 19 42 (37 19 42 is back bearing)
 Brg EC_0 to RO = (Brg EC_0 to 705A) - δRO
 Brg = 37 19 42 - 32 36 36
 Brg = 4° 43' 06"

Gambar 5.15 Tetapkan Stasiun Eksentrik. Pengurangan Buku Medan

Dalam contoh ini jarak offset, 15,3 m, terlalu besar. Namun, jarak tersebut memungkinkan grafik berskala untuk ditampilkan. Sebaliknya, biarkan sisi $a = 2,5$ m dan biarkan sudut seperti di atas. Dengan aturan Sin untuk sudut dan sisi:

$$\text{Angle } A = 1^\circ 42' 55'' \quad (2.5 \times \sin(120^\circ 25' 12'') / 72.152 = 0.02988 = 1.7122^\circ)$$

$$\text{Angle } O = 57^\circ 51' 53'' \quad (180 - 120^\circ 25' 12'' - 1^\circ 42' 55'')$$

$$\text{Side } O = 70.852\text{m}$$

Coordinates EC_0

$$\text{Brg CEM}_0 \text{ to EC}_0 = \text{Brg } 705A + \angle O = 47^\circ 51' 53'' + 57^\circ 51' 53''$$

$$\text{Brg} = 105^\circ 43' 46''$$

Dist, a , = 2.5. Then, by POLAR calculation:

$$dE = 2.406, dN = -0.678$$

$$E_{EC_0} = 354.303 + 2.406 = 56.709$$

$$N_{EC_0} = 7442.800 + (-0.678) = 7442.122$$

$$\text{Brg } 705A \text{ ke EC}_0 = \text{Bearing belakang} - \angle A = 227^\circ 51' 53'' - 1^\circ 42' 55''$$

$$\text{Brg} = 226^\circ 08' 58''. \text{ Bearing mundur EC}_0 \text{ ke } 705A = 46^\circ 08' 58''$$

Brg EC_0 ke RO = $46^\circ 08' 58'' - 32^\circ 36' 36''$ (Brg EC_0 ke 705A - δRO)

Brg = $13^\circ 32' 22''$. Ini dapat dibandingkan dengan Brg asli sebesar $19^\circ 27' 28''$.

Sekarang Anda memiliki orientasi dari stasiun eksentrik ke RO dalam sistem koordinat asli.

5.6 SUMBER KESALAHAN DALAM MELINTASI

- Kesalahan dan kesalahan sistematis dalam perekaman.
- Pemusatan Total Station atau prisma yang tidak akurat memengaruhi jarak.
- Total Station tidak rata atau tidak dalam penyetelan
- Penggunaan Total Station yang tidak tepat
- Untuk pencatatan manual, kesalahan dalam pembacaan dan pencatatan.

Ringkasan

Bab ini telah menyajikan kepada Anda metode yang digunakan oleh surveyor untuk menentukan posisi horizontal titik (Easting dan Northing). Dalam pekerjaan profesional Anda, Anda akan lebih sering berurusan dengan posisi titik. Oleh karena itu, memahami bagaimana posisi tersebut diperoleh merupakan langkah pertama untuk membatasi struktur Anda dengan tepat dalam posisi absolut dan relatifnya. Bagi mahasiswa pertambangan, mengetahui posisi titik yang benar dapat menjadi hal yang penting untuk beberapa tugas yang mencakup, misalnya, misi penyelamatan. Singkatnya, oleh karena itu, posisi diperoleh dari sudut dan jarak terukur yang harus dikoreksi dan disesuaikan karena adanya kesalahan acak. Koordinat yang akhirnya disesuaikan (Easting dan Northing) digunakan untuk menetapkan struktur.

BAB 6

PERATAAN DIFERENSIAL TOTAL STATION

6.1 PENDAHULUAN

Perataan diferensial Total Station (juga dikenal sebagai peninggian trigonometri) adalah varian dari perataan diferensial konvensional. Perbedaan ketinggian dapat ditentukan dengan melakukan serangkaian pengamatan sudut zenith dan jarak lereng pada prisma yang dipasang pada tiang dengan ketinggian tetap. Teknik ini dilakukan dengan cara yang sama seperti perataan diferensial dua arah konvensional. Komite Antarpemerintah tentang Survei dan Pemetaan (ICSM) melalui Publikasi Khusus 1, Versi 2.0 (2013) memberikan pedoman untuk Perataan Diferensial Total Station untuk mencapai berbagai tingkat kesalahan penutupan.

Kesalahan penutupan yang diizinkan: Saat melakukan perataan diferensial atau perataan diferensial Total Station, kesalahan menyebar secara proporsional dengan akar kuadrat jarak yang ditempuh. Penilaian kesalahan penutupan harus dilakukan untuk memverifikasi bahwa lintasan maju dan mundur dari lintasan perataan, termasuk setiap rongga, berada dalam kesalahan penutupan maksimum yang diizinkan. Kesalahan penutupan yang diizinkan dihitung menggunakan rumus $r_{mm} = nvk$ (k dalam km).

Tiga standar, menggunakan nilai empiris, direkomendasikan: 2mmvk, 6mmvk dan 12mmvk. Untuk kesalahan penutupan maksimum yang diizinkan yang direkomendasikan sebesar 12vk (maju dan mundur).

Peralatan: EDM Total Station; jarak $\pm 3\text{mm} + 2\text{ppm}$, sudut zenith 5", kalibrasi harian kesalahan indeks lingkaran vertikal dan kompensator level, akurasi kompensator 2,5", pengukuran atmosfer akurat hingga $t = 1^\circ\text{C}$, $P = 1\text{ Hpa}$, $RH = 2\%$. Tidak tersedia hingga perataan 12vk, reflektor ketinggian tetap tripod teleskopik dengan dukungan bi-pod; gelembung staf terpasang dan akurat hingga vertikalitas 10', ketinggian tetap dipastikan; prisma yang dipasang secara permanen, seimbang dan miring, prisma umum; pelat perubahan standar.

Teknik pengamatan: Perataan dua arah; hindari kesalahan indeks batang tetap, amati batang yang sama pada BS pertama/FS terakhir; jarak total pandangan ke depan kira-kira sama dengan pandangan ke belakang; putaran pengamatan F/L, F/R, 3; pembacaan perbedaan ketinggian hingga 1 mm; kondisi atmosfer T/A; jarak pandang maksimum 120 m; jarak bebas ke tanah minimum 0,5 m. Periksa spesifikasi Total Station Anda untuk memastikannya memenuhi persyaratan ini.

6.2 PERAMBATAN KESALAHAN DALAM PERATAAN TRIGONOMETRI

Dibandingkan dengan perataan diferensial, di mana kita umumnya hanya memperhatikan bidang horizontal melalui level, perataan trigonometri melibatkan sumber tambahan kesalahan sistematis dan acak. Perbedaan ketinggian antara instrumen dan target, pembacaan sudut elevasi, α , dan jarak lereng, S , adalah:

$$\Delta h = S \sin \alpha$$

namun pembacaan Total Station untuk sudut vertikal umumnya dinyatakan sebagai sudut zenith, z , di mana arah ke zenith adalah 0° , dan horizon adalah 90° . Rumusnya kemudian menjadi:

$$\Delta h = S \cos z.$$

Δh yang dihasilkan memiliki tanda elevasi atau depresi yang benar. Δh lengkap antara dua titik tanah harus menggabungkan ketinggian instrumen (hi) dan target (ht), dan koreksi untuk kelengkungan dan refraksi (h_{CR}). Hal ini dibahas dalam leveling diferensial, mengingat:

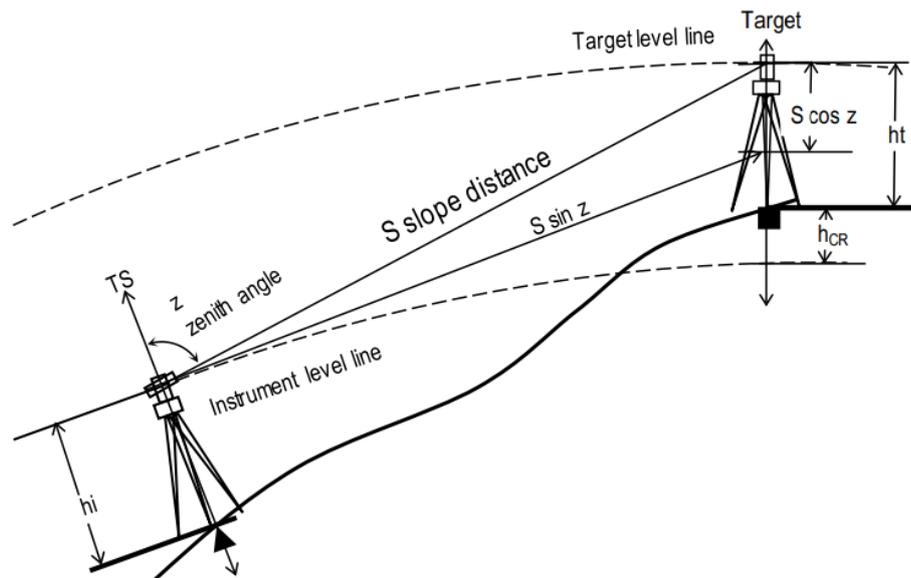
$$h_{CR} = CR \left(\frac{D}{1000} \right)^2 \text{ dimana } CR = 0.0657 \text{ untuk jarak } D = S \sin z$$

Dengan demikian:

$$\Delta h = hi + S \cos z + CR \left(\frac{S \sin z}{1000} \right)^2 - ht$$

Perataan trigonometri

Dicapai dengan mengukur sudut elevasi antara Total Station dan target, dan mengukur jarak lereng ke target.



Gambar 6.1 Pengamatan Dalam Perataan Trigonometri

Sumber kesalahan meliputi:

- Akurasi pembacaan digital,
- (Din 18723, iso 17123)

- c. Kesalahan kompensator otomatis vertikal,
- d. Akurasi pembacaan jarak, jarak lereng, s
- e. Akurasi pengaturan di atas titik pengukuran dan titik target (akurasi pemusatan),
- f. Akurasi ketinggian instrumen (h_i) dan target (h_t).

Seperti halnya semua rangkaian pengamatan pengukuran, perataan trigonometri rentan terhadap tiga jenis kesalahan: *Kesalahan sistematis, Kesalahan acak, dan Kesalahan atau kekeliruan.*

Kesalahan Sistematis dalam Pengamatan Level

- a. Kesalahan kolimasi lingkaran vertikal: diminimalkan dengan mengambil rata-rata pembacaan sudut zenit Muka Kiri (FL) dan Muka Kanan (FR) ke target
- b. Kelengkungan dan refraksi bumi, h_{CR} , dikoreksi dengan: $h_{CR} = CR \left(\frac{D}{1000} \right)^2$ di mana $CR = 0,0675$ untuk jarak D dalam meter. Efeknya minimal pada garis-garis khas, katakanlah $D = S \sin z = 100$, misalnya: (Ghilani 2010, p153), $h_{CR} = 0,0007\text{m}$ (0,7mm)
- c. Penyimpangan dari atmosfer standar produsen instrumen untuk pengukuran jarak. Jarak lereng digunakan untuk menghitung perbedaan ketinggian, Δh . Kecepatan cahaya (metode pengukuran jarak) bervariasi dengan kepadatan udara menyebabkan kesalahan dalam pembacaan jarak. Penyimpangan dari atmosfer standar oleh kondisi meteorologi setempat menimbulkan koreksi, yang dinyatakan dalam bagian per juta (ppm) jarak lereng. Pada ketinggian yang lebih tinggi, tekanan lokal secara signifikan lebih rendah daripada tekanan permukaan laut. Dalam batas yang dapat diterima, tekanan atmosfer menurun pada tingkat sekitar 1hPa per 9m ketinggian. Koreksi (ppm) dari atmosfer standar pabrikan. Seri Sokkia SET530. Atmosfer standar kalibrasi instrumen: deviasi berkisar antara:
 - suhu 15°C, (Leica 12°C) 1ppm/°C
 - tekanan lokal 1013.25hPa, (Leica 1012hPa)
 - RH 0%.
 - deviasi berkisar antara: 1ppm/3.6hPa,
 - penurunan tekanan sekitar 1hPa/ketinggian 9m.
 - 1ppm/ketinggian 32m
 - 0.1ppm/10% perubahan RH, tidak signifikan.

Di Newman, ketinggian 550m, tekanan MSL 1010, suhu 35°C tekanan stasiun sekitar

$$1010 - (550/9) = 949\text{hPa}$$

koreksi ppm = +20 untuk suhu (35 – 25) dan

$$= +18 \text{ untuk tekanan } (1013-949)/3,6$$

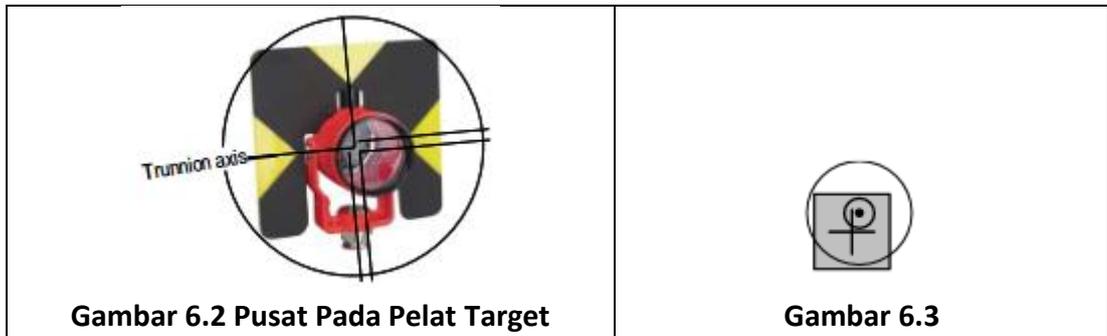
$$= +38\text{ppm}$$

yang berarti bahwa, kecuali kondisi meteorologi dimasukkan ke dalam instrumen, terdapat kesalahan jarak lereng sebesar 0,004m (4mm) pada jarak 100m.
- d. Faktor skala (S.F.) yang dimasukkan atau diprogram ke dalam komputer instrumen tidak tepat.
 - Hanya memengaruhi jarak horizontal yang ditampilkan,
 - Catat jarak lereng dan sudut zenith

- Periksa dan catat pengaturan faktor skala, atau ubah ke $s.f = 1$ di buku lapangan.

Kesalahan Acak dalam Pengamatan

1. Akurasi pembacaan digital, kemampuan untuk menentukan akurasi penunjuk ke target ditentukan oleh produsen, Sokkia SET530RK3 memiliki akurasi penunjuk $\pm 5''$ sesuai dengan DIN 18723, ISO 17123.
2. Kesalahan bidik dan penunjuk ke target. Kesalahan cenderung acak, dan dipengaruhi oleh kesalahan paralaks dalam memfokuskan lensa mata dan objek yang menunjuk ke pusat prisma, alih-alih memotong pelat target.
3. Kesalahan EDM,
 - a. Mempertimbangkan kebetulan titik pengukuran dengan sumbu vertikal,
 - b. Kesalahan dalam perhitungan jarak (kesalahan osilator)
 - c. Kesalahan yang terkait dengan target; prisma, pelat datar, tanpa reflektor
 - d. Bervariasi, $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ untuk prisma hingga $\pm 10\text{mm} \pm 2\text{ppm}$ untuk pembacaan tanpa reflektor.
4. Kesalahan pemusatan, kemampuan untuk memusatkan pada suatu titik. Gambar 6.3. Kesalahan ini dapat disebabkan oleh:
 - a. Kemiringan optik yang tidak tegak lurus,
 - b. Pemeriksaan ketidakejajaran kemiringan kemiringan dengan pengamatan 90° melalui kemiringan ke titik dasar,
 - c. Pemusatan titik retikula yang tidak tepat. Dalam urutan 2 – 5 mm.
5. Pengukuran tinggi sumbu trunnion instrumen dan sumbu trunnion target, mungkin dalam urutan ± 5 mm.



Mengingat kembali bahwa $\Delta h = h_i + S \cos z + CR \left(\frac{S \sin z}{1000} \right)^2 - ht$ di mana $CR = 0,0675$ kesalahan standar pengamatan Δh , menggabungkan turunan parsial (Ghilani 2010, hal. 160), adalah:

$$\sigma_{\Delta h} = \pm \sqrt{\sigma_{h_i}^2 + \sigma_{h_i}^2 + \left[\left(\cos z + \frac{CE(S) \sin^2 z}{500.000} \right) \sigma_s \right]^2 + \left[\left(\frac{CR(S) \sin z \cos z}{500.000} - S \sin z \right) \frac{\sigma_2}{206265} \right]^2}$$

Misalnya, di mana $ht = h_i$, $\sigma_{ht}/h_i = \pm 0,005$ dan $z = 88^\circ \pm 5''$, $S = 150 \pm 0,01\text{m}$
 $\Delta h = 5,235\text{m}$

$$\sigma_{\Delta h} = \pm 0,008.$$

Namun, analisis pengamatan menunjukkan bahwa kontribusi kesalahan dalam alat ukur dan tinggi target, $\sigma_{ht/hi} = \pm 0,005\text{m}$, menyumbang $\pm 0,0071\text{m}$ sedangkan TS menyumbang $\pm 0,0036\text{m}$ pada anggaran kesalahan. (Keduanya bergabung untuk menghasilkan $\sigma_{\Delta h} = \pm 0,008.$)



Gambar 6.4 Trunnion

6.3 PERHITUNGAN KOORDINAT TIGA DIMENSI DARI OBSERVASI

Pengambilan titik untuk model elevasi digital (DEM). Ada dua tugas perhitungan yang harus dilakukan dari observasi Anda:

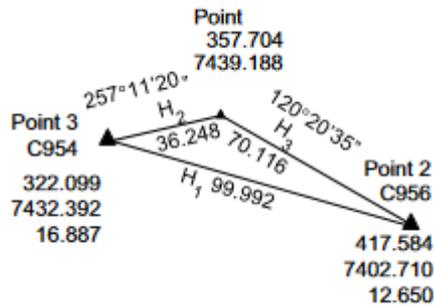
- Perhitungan koordinat titik observasi yang meliputi: Orientasi koordinat 3D dari backsights, pemeriksaan perhitungan
- Perhitungan koordinat titik data yang diambil dari titik observasi: Koordinat 3D.

Perhitungan Jarak yang Diamati.

Dua metode tersedia, yang keduanya bergantung pada pengukuran jarak lereng yang diamati, S , menjadi komponen **jarak horizontal, H** , dan **jarak vertikal, V** . H dan V adalah koordinat persegi panjang dari vektor kutub r , θ .

- r = jarak lereng, S
- θ = sudut zenith,
- $H = S \sin Z$
- $V = S \cos Z$

Dengan tanda yang benar untuk perbedaan elevasi antara titik observasi dan target. Ingat: Sudut zenith, Z , berasal dari ZENITH dan berada pada 90° saat horizontal. Jangan mencoba menghitung sudut elevasi atau depresi. Terlalu berisiko.



Gambar 6.5 Persimpangan Berdasarkan Jarak Horizontal

Perhitungan Langsung Koordinat Horizontal X, Y melalui Perpotongan Jarak Horizontal ke Titik yang Diketahui

Metode ini bergantung pada pengukuran jarak horizontal dari titik yang tidak diketahui ke dua titik kontrol yang diketahui. Metode ini serupa dengan mencari titik perpotongan jari-jari dari dua titik yang diketahui. Jarak horizontal antara dua kontrol dihitung dengan metode JOIN, metode ini juga memberikan arah dari satu titik ke titik lainnya. Dua jarak lainnya diperlukan: jarak tegak lurus, *h*, dari garis dasar yang diketahui ke puncak segitiga; jarak yang diproyeksikan, *p*, sepanjang garis dasar ke titik perpotongan tegak lurus. *H*₁ dihitung, *H*₂ dan *H*₃ diukur dari Titik 1. Perhatikan bahwa jarak tersebut berlawanan dengan titik kontrolnya masing-masing. Untuk menyesuaikan dengan konvensi survei, kami memberi label ulang kerangka koordinat sebagai E (timur) dan N (utara). Arah dari 0° adalah rotasi searah jarum jam hingga 360°. Sekali lagi, ini adalah konversi kutub ke persegi panjang dengan:

r menunjukkan jarak **horizontal, H**

ϑ menunjukkan arah dan

$$E = H \sin \vartheta$$

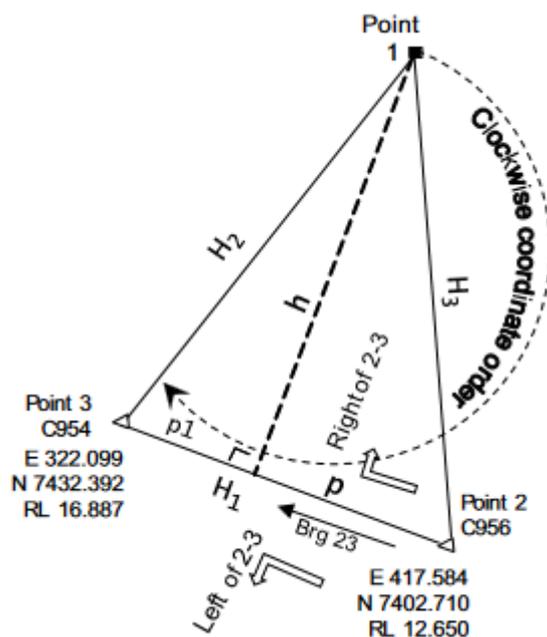
$$N = H \cos \vartheta.$$

Dengan titik potong 1, beri label dua titik yang diketahui dalam urutan searah jarum jam sebagai 2 dan 3.

Pecahkan koordinat titik 1 secara langsung dengan rumus:

$$E_1 = E_2 + p \sin \theta_{23} \pm h \cos \theta_{23}$$

$$N_1 = N_2 + p \cos \theta_{23} \mp h \sin \theta_{23}$$



Gambar 6.6 Persimpangan Berdasarkan Jarak

Metode alternatif, menghindari perhitungan bantalan.

Mungkin lebih mudah menggunakan bentuk selisih koordinat daripada bantalan dari 2 ke 3. Kalkulator ilmiah modern membuat langkah ini menjadi berlebihan, namun masalah tersebut dapat diselesaikan dengan kalkulator empat fungsi plus $\sqrt{\quad}$. Mungkin lebih mudah pada kalkulator HP10 Anda. Kalkulator ini juga melindungi dari kesalahan input, dan masalah dalam menentukan bantalan.

1. Hitung POLAR antara 2 dan 3

$E_3 - E_2$ = sisi yang berlawanan;

$N_3 - N_2$ = sisi yang berdekatan;

H_1 adalah hipotenusa yang ditemukan oleh Pythagoras. Ini adalah sisi yang berlawanan dengan titik 1.

$$H_1 = \sqrt{(E_3 - E_2)^2 + (N_3 - N_2)^2}$$

Sin θ_{23} dan Cos θ_{23} dapat ditemukan langsung dari perbedaan koordinat:

$$a = \frac{E_3 - E_2}{H_1}$$

Menghitung Sin θ_{23} secara langsung dimana $(E_3 - E_2)$ = sisi depan, H_1 = sisi miring

$$b = \frac{N_3 - N_2}{H_1}$$

Menghitung Cos θ_{23} secara langsung di mana $(N_3 - N_2)$ = sisi yang berdekatan, H_1 = sisi miring

2. Hitung jarak horizontal dari jarak lereng yang diukur:

$$H_2 = S_{13} \sin Z_{13}$$

$$H_3 = S_{12} \sin Z_{12}$$

Menghitung $P = \frac{H_1^2 + H_3^2 - H_2^2}{2H_1}$ dan $h = \sqrt{H_3^2 - P^2}$

3. Kita tahu, dari POLAR, bahwa $E_1 = E_2 + dE_{21}$ dan $N_1 = N_2 + dN_{21}$

$$E_1 = E_2 + p \frac{E_3 - E_2}{H_1} \pm h \frac{N_3 - N_2}{H_1} \quad (dE_{21} = p \frac{E_3 - E_2}{H_1} \pm h \frac{N_3 - N_2}{H_1})$$

$$N_1 = N_2 + p \frac{N_3 - N_2}{H_1} \pm h \frac{E_3 - E_2}{H_1} \quad (dN_{21} = p \frac{N_3 - N_2}{H_1} \mp h \frac{E_3 - E_2}{H_1})$$

4. Kemudian, dengan menentukan titik-titik koordinat dalam urutan searah jarum jam, 1 berada di sebelah kanan garis 2 – 3 Gambar 6.6 solusi perpotongan berdasarkan jarak menjadi:

$$E_1 = E_2 + ap + bh \text{ (1 ke kanan pada garis 2 - 3)}$$

$$N_1 = N_2 + bp + ah \text{ (1 ke kanan pada garis 2 - 3)}$$

5. Hitung bantalan dari titik 1 ke titik 2 dan 3 untuk memberikan orientasi dan pemeriksaan:

$$\text{Bantalan 1 ke 2: } \theta_{12} = A \tan \left(\frac{\Delta E_{12}}{\Delta N_{12}} \right) = A \tan \left(\frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1} \right) \text{ pada kuadran yang benar}$$

$$\text{Bantalan 1 ke 3: } \theta_{13} = A \tan \left(\frac{\Delta E_{13}}{\Delta N_{13}} \right) = A \tan \left(\frac{E_3 - E_1}{N_3 - N_1} \right) \text{ pada kuadran yang benar}$$

Contoh lembar perhitungan dari data buku lapangan:

Tabel 6-1 Pengamatan jarak persimpangan.

At STN 1001							HI	1.535
To STN	Face	HAR	VA (Z)	S dist	H = S sin Z	V = S Cos Z		
C956	L	120 20 30	92 30 30	70.184			HT	1.598
<i>Mean Dirn</i>		120 20 35	92 30 25	70.183	70.116	-3.070		
C956	R	300 20 40	267 29 40	70.182				
<i>Mean angle</i>		137 50 45						
C954	L	258 11 20	87 55 10	36.272			HT	1.750
<i>Mean Dirn</i>		258 11 20	87 55 20	36.272	36.248	1.315		
C954	R	78 11 40	272 04 30	36.272				

1. Hitunglah himpunan data dan hitunglah parameternya: Dari data yang diberikan:

$$\begin{array}{l|l} \Delta E_{23} = E_3 - E_2 = & -95.485 \\ H_1 = H_{23} = \sqrt{(\Delta E_{23})^2 + (\Delta N_{23})^2} = & 99.992 \\ H_2 = H_{13} = & 36.248 \\ H_3 = H_{12} = & 70.116 \\ a = \Delta E_{23}/H_1 = & -0.95493 \\ p = (H_3^2 + H_1^2 - H_2^2)/(2H_1) = & 68.0091 \end{array} \quad \begin{array}{l} \Delta N_{23} = N_3 - N_2 = 29.682 \\ \text{from calculated join 2 - 3, Pythagoras} \\ \text{from reduction of slope distance} \\ \text{from reduction of slope distance} \\ b = \Delta N_{23}/H_1 = 0.29684 \\ h = \sqrt{(H_3^2 - p^2)} = 17.0591 \end{array}$$

2. Hitung koordinat STN 1:

$$E_1 = E_2 + ap + bh = 357.704$$

$$N_1 = N_2 + bp - ah = 7439.188$$

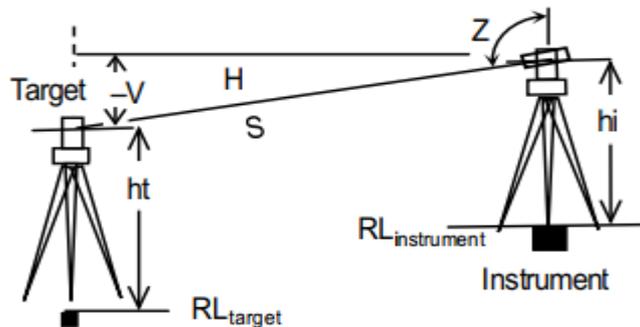
3. Hitung RL STN 1001 dan periksa:

$$\begin{aligned} RL_1 &= RL_2 - V_{21} + HT_2 - HI \\ &= 12.650 - (-3.070) + 1.598 - 1.535 = 15.783 \\ RL_1 &= RL_3 - V_{31} + HT_3 - HI \\ &= 16.887 - (+1.315) + 1.750 - 1.535 = 15.787 \end{aligned}$$

4. Hitung BRG₁₂ dan BRG₁₃

$$\begin{aligned} \theta_{12} &= \text{ATAN} \left(\frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1} \right) \text{ in correct quadrant} \\ &= \text{ATAN}(-1.64152) \\ &= -58.65059 + 180 \text{ (quadrant 2)} = 121.34941 \\ &= 121^\circ 20' 58'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{13} &= \text{ATAN} \left(\frac{E_3 - E_1}{N_3 - N_1} \right) \text{ in correct quadrant} \\ &= \text{ATAN}(5.238931) \\ &= 79.193453 + 180 \text{ (quadrant 3)} = 259.193453 \\ &= 259^\circ 11' 36'' \end{aligned}$$



Gambar 6.7 Transfer RL

5. Hitung sudut antara BRG₁₂ dan BRG₁₃ dan bandingkan dengan sudut rata-rata yang diamati.

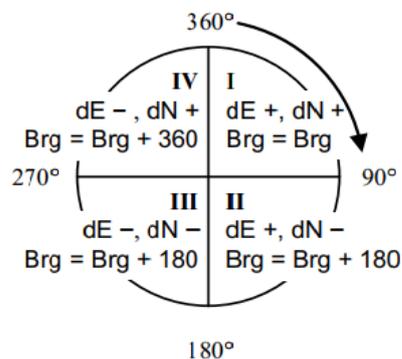
$$= 259^\circ 11' 36'' - 121^\circ 20' 58''$$

Sudut yang dihitung = 137° 50' 39" Dari lembar lapangan:

Sudut rata-rata = 137° 50' 45" v (selisih 6" pada jarak 70m = 0,002m (2mm))

6. Rangkum data:

STN 1001	C956	C954
E 357.704	E 417.584	N 322.099
N 7439.188	N 7402.710	N 7432.392
RL 15.785	RL 12.650	RL 16.887



Gambar 6.8 Kuadran

HAR₁₂ 120° 20' 35" Arah rata-rata (FL/FR) ke C956

BRG₁₂ 121° 20' 58" BRG ke C956. Sudut rotasi dari arah rata-rata +1° 00' 23"

BRG₁₃ 259° 11' 36" BRG ke C954.

Orientasi Sistem Koordinat Lokal ke Sistem Grid

1. Orientasi awal arah adalah dengan penyelarasan ke utara sejati menggunakan kompas tabung (palung) untuk menentukan utara magnet. Lingkaran horizontal Total Station dikunci dan arah utara magnet yang sebenarnya dimasukkan ke dalam Total Station setelah memperhitungkan variasi magnet (deviasi).
2. Setelah koordinat titik kontrol baru ditentukan, bearing sejati yang dihitung dibandingkan dengan bearing titik kontrol yang diamati dan sudut rotasi ditentukan. +1° 00' 23"
3. Bearing BS awal dapat dikoreksi untuk memberikan bearing yang benar untuk pengamatan di masa mendatang.

Pengamatan, Pemesanan, dan Perhitungan Titik Medan untuk DTM

1. Bidik pandangan belakang Anda di FL. Dalam kasus ini ke STN 2, C956 memiliki BRG 121° 20' 58". Tetapkan bearing yang dihitung pada Total Station menggunakan H.ANG. Tetapkan prisma pada tiang prisma dan sesuaikan HT ke ketinggian yang sama dengan HI. Amati dan pesan di FL ke titik-titik penting, seperti yang diilustrasikan dalam lembar pemesanan Hitung jarak horizontal, H dan jarak vertikal, V, ke setiap titik.

Tabel 6.2 Pengamatan DEM

At STN 1001		Calculate horizontal, H, and vertical, V, distances				RL 15.785	HI	1.535
To	Face	HAR	VA (Z)	S dist	H = S sinZ	V = S cosZ		
2, C956	L	121 20 58	92 33 36	70.186	70.116	-3.135	HT	1.598
NE Corner 204		143 35 09	93 50 00	50.327	50.215	-3.364	HT	HI
N face 204		154 30 50	94 19 33	44.876	44.748	-3.385		
CH 00		155 31 20	95 40 55	39.747	39.552	-3.395		
705, CH93.3		44 52 37	91 14 30	71.903	71.886	-1.558		
Path P1		34 59 41	90 22 45	88.404	88.402	-0.585		
P2		52 55 07	90 33 14	61.550	61.547	-0.595		
P3		76 07 40	91 07 11	31.470	31.464	-0.615		
S Valve 1								
Tree T1 dia 0.4								

2. Reduksi observasi ke koordinat

E station point = E STN 1 + dE (= H Sin(HAR))

N station point = N STN 1 + dN (= H Cos(HAR))

RL station point = RL STN 1 + V + HI - HT note that if HT = HI then

RL of point = RL STN 1 + V, see Table 6-3.

Tabel 6.3 Pengurangan Observasi

At STN 1001	Radiate from 1001		357.704	7439.188	15.785		Calc
To STN	dE	dN	E	N	V	RL	
2, C956	59.880	-36.478	417.584	7402.711	-3.135	12.587	Check
Cnr 204	29.808	-40.410	387.513	7398.778	-3.364	12.412	
N Face 204	19.225	-40.393	376.959	7398.795	-3.385	12.400	
CH00	16.388	-35.997	374.092	7403.191	-3.935	11.850	
705, CH93.3	50.722	50..594	408.426	7490.129	-1.558	14.230	
Path P1	50.699	72.420	408.426	7511.608	-0.585	15.200	
P2	49.101	37.110	406.805	7476.298	-0.595	15.190	
P3	30.546	7.544	388.250	7446.732	-0.615	15.170	
S Valve 1							
Tree T1 dia 0.4							

Kode Fitur untuk Pengambilan Titik dan Garis

Secara umum, fitur bisa berupa titik atau bagian dari garis atau poligon (garis penutup). Awalan fitur dengan simbol dapat digunakan untuk memberi tahu perangkat lunak pemrosesan cara menampilkan dan memproses data yang dikumpulkan. Indikator titik umumnya berupa tanda tambah, +. Indikator garis bisa berupa tanda garis miring. Indikator poligon bergantung pada perangkat lunak tertentu. Selama proses pengumpulan data survei, perlu untuk memberikan deskripsi setiap fitur. Deskripsi ini umumnya berupa kode huruf pendek atau kode numerik yang dikaitkan dengan fitur.

Kode umumnya dikelompokkan berdasarkan aktivitas tertentu yang dapat dipilih dari kode tertentu. Banyak paket survei terpadu memiliki kode yang disarankan. Perusahaan survei mungkin memiliki kode khusus untuk digunakan dengan pengambilan data. Kode-kode ini sering disimpan di Total Station itu sendiri, atau di perekam data eksternal yang terpasang pada Total Station. Kode harus sederhana dan mudah diingat. Sering kali kode tersebut merupakan akronim dari nama lengkap.

Apakah suatu fitur berupa titik, atau bagian dari suatu garis. Pengumpulan data untuk praktik lapangan ini akan dicatat pada lembar pengambilan fitur yang dilampirkan pada Praktik Lapangan 3. Gunakan kolom To STN untuk mencatat nomor pengamatan berurutan. Kolom Remarks dapat digunakan untuk mencatat kode fitur.

Beberapa kode yang disarankan tercantum:

Tabel 6-4 Contoh kode fitur.

Nr	CODE	Description	Nr	CODE	Description	Nr	CODE	Description
1	PM	Perm survey mark	160	DH	Drill hole	411	EP	Edge path
2	BM	Bench mark	170	WROW	Windrow	512	CABL	Cable pit
4	STN	Instrument station				609	RET	Retaining wall
5	SM	Survey mark	201	TREE	Tree >2m	713	ELP	Electric pole with light
101	CONT	Contour	204	SHRB	Shrub <5m	716	EPIT	Electricity pit
102	TOP	Top cut/fill	401	CB	Centre bitumen road	741	SPIT	Sewerage pit
103	TOE	Toe cut/fill	403	EB	Edge bitumen road	751	SV	Stop valve
104	ES	Existing surface	407	INV	Invert kerb/channel	762	UPIT	Unclassified pit
150	GRID	Grid intersection	410	PATH	Pedestrian path	851	TXT1	Text 1

Ringkasan

Bab ini menyajikan metode alternatif untuk penentuan ketinggian yang dibahas dalam Bab 2 (yaitu, pengukuran ketinggian dengan spirit leveling). Dalam pengukuran ketinggian trigonometri, yang disingkat pengukuran ketinggian trigonometri, alih-alih menggunakan level seperti yang kita lihat dalam Bab 2, digunakan stasiun total sebagai gantinya. Sementara dalam Bab 2 pengukuran ketinggian dengan spirit leveling mengukur perbedaan ketinggian, pengukuran ketinggian trigonometri yang disajikan dalam bab ini mengukur sudut dan jarak lereng, yang kemudian dikenakan rumus "sinus", "tangen", dan "kosinus" tradisional untuk memperoleh ketinggian, maka dinamakan pengukuran ketinggian trigonometri.

Keuntungan pengukuran ketinggian trigonometri adalah kecepatan dalam menghasilkan ketinggian dan biaya yang rendah. Untuk berbagai tugas teknik yang memerlukan pengukuran ketinggian yang cepat, misalnya, selama pengintaian untuk tujuan perencanaan, metode ini praktis. Selain itu, dengan penggunaan stasiun total robotik saat ini yang setelah diatur secara otomatis melacak target, ketinggian titik dan ketinggian acak dari titik-titik yang menarik dapat diperoleh. Kerugian dari metode ini adalah akurasi yang rendah dibandingkan dengan pengukuran dengan spirit leveling, yang membuatnya tidak cocok untuk digunakan dalam memperoleh kontrol vertikal.

BAB 7

STRIKE DAN DIP PADA BIDANG TERTANAM

7.1 PENDAHULUAN

Insinyur pertambangan terlibat dalam ekstraksi mineral dari badan bijih yang sering kali mengandung lapisan pengendapan. Insinyur sipil mungkin juga perlu memahami lereng yang terkait dengan pekerjaan tanah di medan miring. Penggunaan tipikal dapat dilakukan pada struktur tanah curah seperti dinding bendungan reservoir air, tanggul tangki, dan sejenisnya. Kemampuan untuk menghitung kedalaman dan arah lubang bor, kemiringan jalan masuk, dan perhitungan sudut miring tidak dibahas dengan baik dalam sebagian besar teks survei.

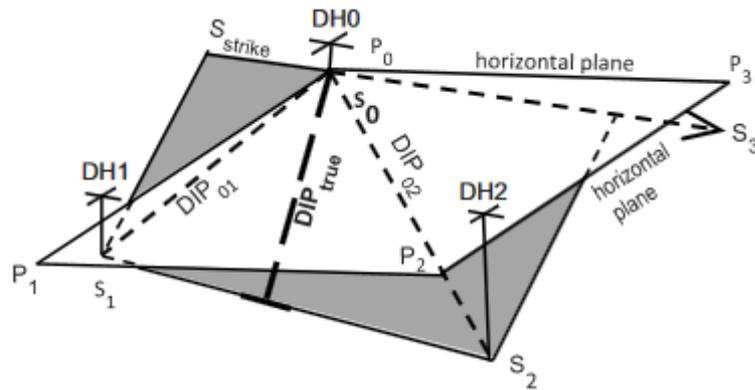
Bab ini mencoba menunjukkan beberapa teknik perhitungan sederhana yang tersedia untuk digunakan di lapangan, atau sebagai tambahan untuk perangkat lunak perencanaan tambang normal. Pengukuran lapangan strike and dip dari lapisan yang terbuka dapat dilakukan dengan menggunakan Total Stations, level otomatis, atau kompas geolog, misalnya, tipe Brunton.

7.2 STRIKE DAN DIP

Ahli geologi menggambarkan orientasi lapisan mineralisasi dalam hal arah bidang horizontal yang memotong lapisan, strike, dan kemiringan maksimum bidang, dip. Pengeboran eksplorasi akan memotong struktur geologi yang berbeda, beberapa di antaranya mungkin memerlukan pengembangan menjadi tambang. Setelah menemukan lapisan, sekarang kita perlu menggambarkan lokasi dan orientasinya sehingga tambang dapat direncanakan untuk mengekspos lapisan tersebut.

7.3 STRIKE DAN DIP PADA BIDANG

Hubungan antara permukaan tanah dan lapisan yang disimpulkan, yang ditentukan oleh tiga lubang bor, DH0, DH1, dan DH2, diilustrasikan dalam Gambar 7.1. Bidang P_0 , P_1 , P_2 , P_3 adalah permukaan bidang horizontal melalui S_0 , (di bawah DH1) yang merupakan titik potong "tertinggi". Bidang kemiringan, jahitan yang berpotongan, didefinisikan di bawah permukaan titik DH0, DH1, dan DH2 pada S_0 , S_1 , dan S_2 . Garis strike ke S_3 mendefinisikan arah garis strike yang belum diketahui. Garis $S_0 - S_1$, dan $S_0 - S_2$ adalah garis strike yang tampak dari S_0 . Kemiringan sebenarnya, atau maksimum, dari S_0 (DIP_{true}) tegak lurus terhadap garis strike. Jadi, jika Anda menemukan arah kemiringan maksimum; maka Anda telah mendefinisikan arah strike.

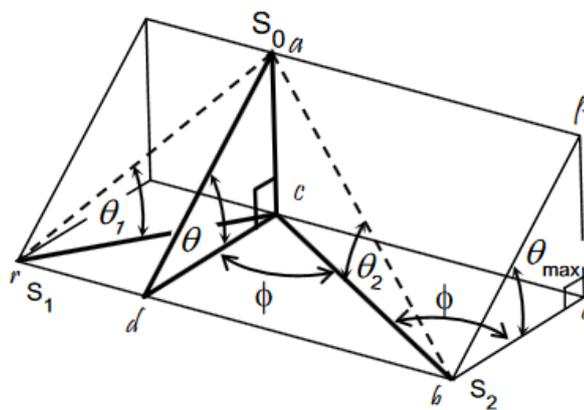


Gambar 7.1 Bidang Kemiringan

7.4 MENENTUKAN STRIKE DAN DIP DARI BIDANG

Bidang kemiringan direpresentasikan oleh bidang apbdr yang memuat $S_0, S_1,$ dan S_2 pada Gambar 7.2. rcqbd adalah bidang yang memuat S_1 dan S_2 pada kedalaman ac di bawah S_0 . Sudut pada c dan q adalah sudut siku-siku. Ada 4 sudut yang perlu dipertimbangkan:

1. Penurunan sebenarnya, θ maks (theta), adalah kemiringan ad di mana ac = naik dan cd = turun.
2. Penurunan semu dari a (s_0) ke b pada S_2 (θ_2)



Gambar 7.2 Dip Dan Strike

3. Penurunan tampak dari a ke r pada S_1 (θ_1) (“tampak” berarti seperti yang diamati atau diukur).
4. Sudut yang disertakan, ϕ (phi), berada di antara penurunan tampak ke b, S_2 , dan penurunan sebenarnya ke d ϕ adalah sudut dcb. Garis bp = ad.

Dari Gambar 7.2 kita akan memberi label ulang θ_{max} sebagai θ untuk pengembangan rumus penurunan sebenarnya.

1. $\tan \theta = \frac{ac}{cdd} = \frac{pq}{qb}$ penurunan maksimum, dan
2. $\tan \theta_2 = \frac{ac}{cb} = \frac{pq}{cb}$ karena $ac = pq$. $\frac{pq}{cb}$ adalah perkalian silang antara penurunan nyata dan penurunan sebenarnya pada b (S_2) $\frac{pq}{cb} = \frac{pq}{bq} \cdot \frac{bq}{cb}$

3. $\tan \theta_1 = \frac{ac}{cr} = \frac{pq}{cr}$ dan sekali lagi, ini adalah produk silang $\frac{pq}{cr} = \frac{pq}{bq} \cdot \frac{bq}{cr}$ dari penurunan nyata dan nyata pada r (S_1).

Kita sekarang memiliki tiga penurunan yang didefinisikan: penurunan nyata, $\tan \theta$; penurunan nyata, $\tan \theta_1$; dan penurunan nyata, $\tan \theta_2$. Mereka terkait oleh sisi yang sama, ac. Kedua penurunan nyata didefinisikan oleh produk silang masing-masing. $\tan \theta_2 = \frac{pq}{cb}$, $\tan \theta = \frac{pq}{qb}$, $\cos \phi = \frac{bq}{cb}$ Jadi, dengan perkalian silang, $\tan \theta = \tan \theta \cos \phi$.

Sudut yang disertakan antara dua kemiringan tampak dapat ditetapkan sebagai Δ (delta kapital), sudut rcb. Ini adalah sudut terukur pada DH0 antara DH1 dan DH2. ϕ adalah sudut yang disertakan antara kemiringan sebenarnya dan kemiringan tampak ke S_2 , (lihat Gambar 7.3). Beri label sudut antara kemiringan sebenarnya dan kemiringan tampak ke S_1 , sebagai δ (delta). Jadi $\delta = \Delta - \phi$, jadi $\phi = \Delta - \delta$. $\tan \theta_2 = \tan \theta \cos \phi \Rightarrow \tan \theta \cos (\Delta - \delta)$ memperluas $\tan \theta \cos (\Delta - \delta) \Leftrightarrow (\cos \Delta \cos \delta + \sin \Delta \sin \delta)$.

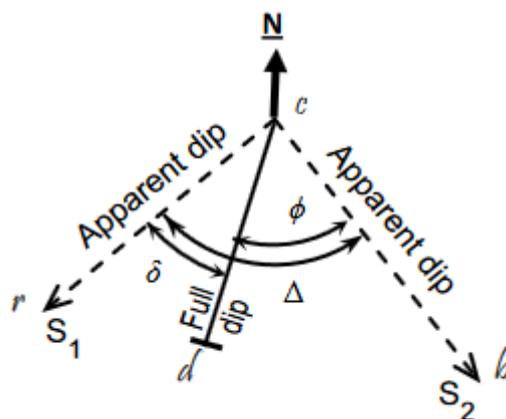
1. Eqn 1 $\tan \theta_2 = \tan \theta (\cos \Delta \cos \delta + \sin \Delta \sin \delta)$

Penurunan nyata $\tan \theta_1$ didefinisikan oleh produk silangnya sehingga:

$$\tan \theta_1 = \frac{pq}{cr}, \tan \theta = \frac{pq}{bq}, \cos \delta = \frac{bq}{cr}, \text{ jadi}$$

2. Eqn 2 $\tan \theta_1 = \tan \theta \cos \delta$

Karena Δ diketahui, kita sekarang memiliki dua ekspresi dengan $\tan \theta$ yang sama, dihubungkan oleh $\sin \delta$ dan $\cos \delta$, yang akan memungkinkan perhitungan sudut δ . Ingat, kita menggunakan rumus sebelumnya untuk menghitung sudut defleksi, δ , yang diukur dari kemiringan sebenarnya, $\tan \theta$, hingga kemiringan semu di S_1 , $\tan \theta_1$. Jadi, kemiringan sebenarnya, (dari Persamaan 2), $\tan \theta_1 = \frac{\tan \theta_1}{\cos \delta}$ Sudut kemiringan, $\theta = A \tan \frac{\cos \delta}{\tan \theta_1}$



Gambar 7.3 Resolusi Sudut Kemiringan

Jika kita memiliki orientasi (azimuth) dari salah satu kemiringan yang tampak dan sudut yang disertakan antara dua garis kemiringan yang tampak, maka kita dapat menghitung azimuth dari kemiringan yang sebenarnya. Garis strike tidak memiliki kemiringan dan tegak lurus terhadap kemiringan yang sebenarnya. Jika bidang tersebut menukik ke bawah, maka azimuth strike adalah azimuth kemiringan $- 90^\circ$.

Strike dan Dip Bidang, Contoh Perhitungan

Seorang geolog kembali dari kunjungan lapangan dengan informasi berikut pada tiga lubang bor: Gambar 7.4

DH0, RL100, memotong lapisan, S_0 pada kedalaman 10m

DH1, RL95, 72m dari DH0, azimuth 063° memotong lapisan, S_1 , pada kedalaman 22m

DH2, RL90, 111m dari DH0, azimuth 130° memotong lapisan, S_2 , pada kedalaman 32m

Hitung strike dan dip lapisan. Gambar 7.4 menunjukkan dua bidang. RL lapisan berpotongan dan kedalaman (dH) di bawah titik acuan S_0 . RL $S_0 = 100 - 10 = 90$ (tertinggi)

$$RL S_1 = 95 - 22 = 73 \quad dHS_0 - S_1 = 90 - 73 = 17$$

$$RL S_2 = 90 - 32 = 58 \quad dHS_0 - S_2 = 90 - 58 = 32$$

Jarak horizontal dan kemiringan tampak ($\tan\theta = \text{naik/turun}$)

$$d_{S_1} = 72\text{m, kemiringan}_{S_1} (\tan \theta_1) = 17/72 = 0,236 = 1:4,24$$

$$d_{S_2} = 111\text{m, kemiringan}_{S_2} (\tan \theta_2) = 32/111 = 0,288 = 1:3,47$$

Sudut yang disertakan antara garis kemiringan tampak

$$d_{S_1} = 71\text{m, dip}_{S_1} (\tan \theta_1) = 17/72 = 0.236 = 1: 4.24$$

$$d_{S_2} = 111\text{m, dip}_{S_2} (\tan \theta_1) = 32/111 = 0.288 = 1: 3.47$$

Termasuk sudut antara garis kemiringan yang tampak

$$\Delta = Az_{S_2} - Az_{S_1} = 130 - 63 = 67^\circ$$

Evaluasi persamaan 1:

$$\tan \theta_1 = \tan \theta (\cos \Delta \cos \delta + \sin \Delta \sin \delta)$$

$$\frac{1}{4.24} = \tan \theta (\cos 67 \cos \delta + \sin 67 \sin \delta)$$

$$\tan \theta = \frac{1}{4.24 (\cos 67 \cos \delta + \sin 67 \sin \delta)}$$

Evaluasi persamaan 2:

$$\tan \theta_2 = \tan \theta \cos \delta$$

$$\frac{1}{3.47} = \tan \theta \cos \delta$$

$$\tan \theta = \frac{1}{3.47 \cos \delta}$$

Sekarang kita mempunyai dua persamaan yang sama untuk $\tan \theta$. Balikkan masing-masing persamaan dan nyatakan persamaannya:

$$4.24(\cos 67 \cos \delta + \sin 67 \sin \delta) = 3.47 \cos \delta \text{ (dimana } \cos 67 = 0.39, \sin 67 = 0.92)$$

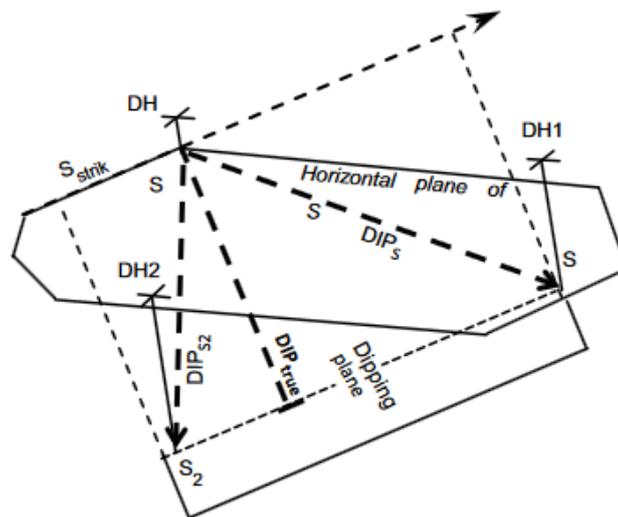
$$4.24(0.39 \cos \delta + 0.92 \sin \delta) = 3.47 \cos \delta \Rightarrow 1.65 \cos \delta + 3.90 \sin \delta = 3.47 \cos \delta$$

$$3.90 \sin \delta = 3.47 \cos \delta - 1.65 \cos \delta \Rightarrow 3.90 \sin \delta = 1.82 \cos \delta$$

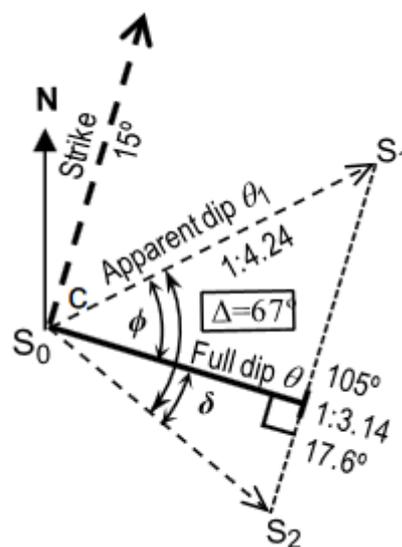
Sekarang, karena $\tan \delta$ dapat dinyatakan dalam bentuk $\sin \delta$ dan $\cos \delta$, selesaikan untuk δ

$$\tan \delta = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \frac{1.82}{3.90} = 0.467. \delta = A \tan (0.467) = 25.03, \delta = 25^{\circ}01'$$

Azimuth ke kemiringan penuh = $AzS_2 - \delta = 130 - 25 = 105^{\circ}$



Gambar 7.4 Kemiringan Dan Bidang Horizontal



Gambar 7.5 Contoh Rencana

Azimuth strike = $105 - 90 = 15^\circ$

Sekarang, evaluasi $\tan \theta$ full dip menggunakan persamaan 2, Dip S_2 , di mana $\tan \theta_2 = 1:3,47$

Dari persamaan 2: $\tan \theta_2 = \tan \theta \cos \delta$. Full dip, $\tan \theta = 1:x$

$$\frac{1}{3,47} = \frac{1}{x} \cos 25 \Rightarrow x = 3,47 \cos 25 = 3,14$$

Laju kemiringan penuh = 1 dalam 3,14 = $\text{ATAN}(1/3,14) = 17,6^\circ$. Dengan orientasi strike dan true dip, Anda kini dapat menghitung kedalaman lapisan dari titik mana pun di area eksplorasi. Volume lapisan tanah penutup dan semua tugas lain yang terkait dengan pengembangan tambang kini dapat dihitung.

Strike dan Dip Bidang, Solusi Grafis

Perhitungan rumit sebelumnya dapat disederhanakan dengan menggunakan solusi grafis yang berasal dari data yang diamati. Solusi ini juga memungkinkan visualisasi pengamatan, dan dapat dilakukan di lapangan. Mengacu pada denah pada Gambar 7.5, dapat dilihat bahwa true dip, θ , lebih kecil daripada setiap appearance dip, θ_1 . Kemiringan berada pada titik paling curam pada θ_{\max} . Seorang ahli geologi kembali dari kunjungan lapangan dengan informasi berikut pada tiga lubang bor yang berbeda. DH0, RL100, memotong lapisan, S_0 pada kedalaman 7m.

$$RLS_0 = 100 - 7 = 93$$

DH1, RL95, 70m dari DH0, azimuth 070° memotong lapisan, S_1 , pada kedalaman 25m.

$$RLS_1 = 95 - 25 = 70, \text{ naik ke } RLS_0 = 93 - 70 = 23, \text{ run} = 70$$

DH2, RL90, 100m dari DH0, azimuth 130° memotong lapisan, S_2 , pada kedalaman 38m.

$$RLS_2 = 90 - 38 = 52, \text{ naik ke } RLS_0 = 93 - 52 = 41, \text{ run} = 100$$

Dari informasi ini, di mana $\tan = \text{naik}/\text{run}$: $\text{dip}_1 (\tan \theta_1) = 23/70 = 0,33 = 1:3,03$.

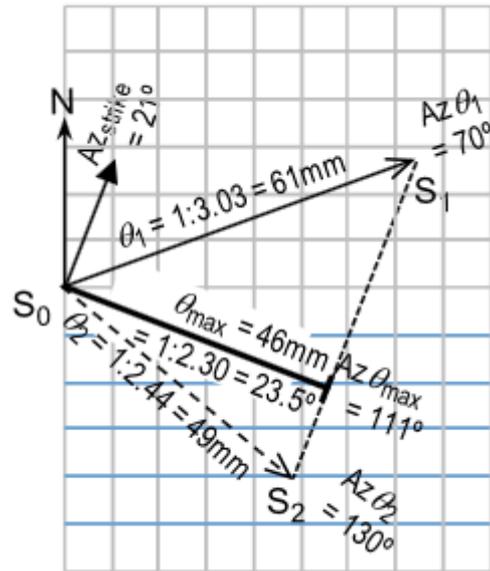
Azimuth, $Az_1 = 070$

$$\text{dip}_2 (\tan \theta_2) = 41/100 = 0,41 = 1:2,44.$$

Azimuth, $Az_2 = 130$.

Gambarlah denah yang mendekati skala. Dirancang agar sesuai dengan buku lapangan A5. Lihat Gambar 7.6.

1. Dari S_0 ,
 - a. Buat garis pada bearing 70° ke arah S_1 untuk jarak 3,03 satuan (misalkan $3,03 \times 20 = 60,6 \text{ mm}$).
 - b. Buat garis pada bearing 130° ke arah S_2 untuk jarak 2,44 satuan ($2,44 \times 20 = 48,8 \text{ mm}$).
2. Hubungkan S_1 dan S_2 . Dari garis dasar ini, buat garis tegak lurus melalui S_0 . Ukur jarak dari base ke S_0 (46 mm) dan ubah ke satuan dip $46/20 = 2,30$ dip sebenarnya adalah $1:2,30 = \text{atan}(1/2,30) = 23,5^\circ$ ukur bearing dari dip sebenarnya dari $S_0 = 111^\circ$ hitung bearing dari strike = $111 - 90 = 21^\circ$



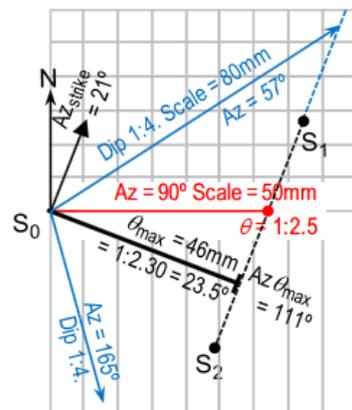
Gambar 7.6 Solusi Celupan Grafis

Dengan diagram yang digambar dengan cermat, maka dimungkinkan untuk menemukan kemiringan yang tampak di setiap arah dengan menskalakannya ke garis strike antara S1 dan S2. Gambar 7.7 mengilustrasikan dua masalah berikutnya. Berapakah kemiringan yang tampak pada bearing 90° dari S0? Gambarlah garis untuk memotong garis strike antara S1 dan S2. Ukurannya 50 mm dan pada skala 1:20. Kemiringan = 1:2,5 (22°).

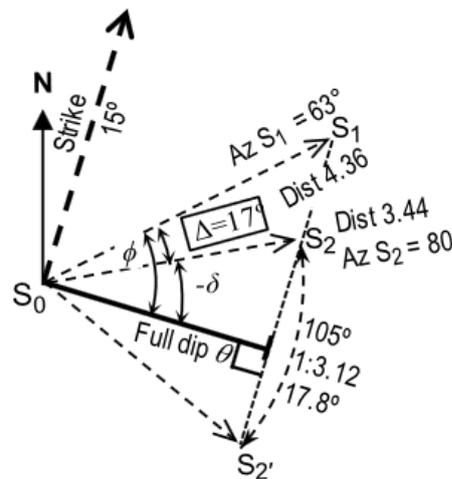
Berapa azimuth garis kemiringan 1:4? Faktor skala mengharuskan garis 80 mm digambar untuk memotong garis strike (melewati S1). Ukur azimuthnya sebagai 57°. Sudut antara kemiringan yang tampak dan penuh, ingat Gambar 7.3, $\delta = 111 - 57 = 54^\circ$. Karena simetri pada bidang kemiringan, berarti ada azimuth lain pada kemiringan nyata 1:4. Kemiringan sebenarnya $+ \delta, = 111 + 54 = 165^\circ$.

Kemiringan Maksimum Garis Jurus “Luar”

Perlu diketahui bahwa data lubang bor dapat menghasilkan beberapa hasil yang “aneh”. Dapat dilihat bahwa jika data lapangan, dari contoh yang dikerjakan di Bagian 7.4 untuk DH₂ adalah:



Gambar 7.7 Menggambar Solusi



Gambar 7.8 Penurunan Ambigu

DH₂, RL90, 111m dari DH₀, azimuth 80° memotong lapisan, S₂, pada kedalaman 32m, maka gambar skala seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.8 akan mengungkapkan arah kemiringan penuh lebih jauh ke selatan dari DH₂. Jarak S₂ dapat memotong garis lurus di S₂ atau S₂', seperti yang ditunjukkan. Perhitungan matematis mungkin menimbulkan kekhawatiran pada jawaban negatif karena sudut $\Delta = 17^\circ$, dan δ akan menghasilkan nilai $\delta = -25^\circ$. Azimuth kemiringan penuh, $Az\theta$, tetap; $Az\theta = Az_2 - \delta = 80 - (-25) = 105^\circ$. Seperti halnya azimuth DH₂ yang sebesar 130°, rumusnya adalah:

$$4.24 (\cos 17 \cos \delta + \sin 17 \sin \delta) = 3.47 \cos \delta \quad (\text{dimana } \cos 17 = 0.96, \sin 17 = 0.29)$$

$$4.24(0.96 \cos \delta + 0.29 \sin \delta) = 3.47 \cos \delta$$

$$\Rightarrow 4.05 \cos \delta + 1.24 \sin \delta = 3.47 \cos \delta \quad \text{mengelompokkan suku - suku } 1.24 \sin \delta$$

$$= 3.47 \cos \delta - 4.05 \cos \delta$$

$$\Rightarrow 1.24 \sin \delta = -0.58 \cos \delta$$

$$\tan \delta = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} = \frac{-0.58}{1.24} = -0.465$$

$$\text{Dengan demikian } \delta = \text{ATAN}(-0.465) = -25, \delta = -25^\circ$$

$$\text{Azimuth ke kemiringan penuh} = Az_{S_2} - \delta = 80 - (-25) = 105^\circ$$

Azimuth kemiringan maksimum berjarak sama antara dua kemiringan tampak yang sama.

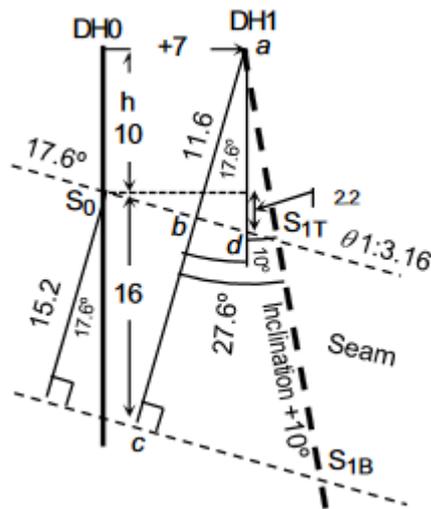
7.5 KETEBALAN SAMBUNGAN

Setelah menghitung kemiringan sebenarnya, θ , ketebalan sambungan dapat dihitung. Dari contoh yang dikerjakan di Bagian 7.4, sambungan dipotong 10m secara vertikal di bawah DH₀. Pengeboran vertikal yang berkelanjutan menghasilkan ketebalan sambungan yang tampak (da) sebesar 16m. Berapa ketebalan sebenarnya (d) sambungan tersebut? Pada Gambar 7.9, kedalaman ke sambungan, $h = 10\text{m}$, kemiringan sebenarnya, $\theta = 1:3,16 = 17,6^\circ$, ketebalan sebenarnya, $dt = \text{tampak} (da) \cos \theta$. Sambungan (dt) = $16 \cdot \cos(17,6) = 15,2\text{m}$. Pertimbangkan lubang bor miring, DH₁, yang miring menjauhi garis strike. Pengeboran dimulai

pada +7 dari garis strike melalui DH1 pada kemiringan +10° dari vertikal menjauhi “lereng bawah” (Kemiringannya adalah 27,6° tegak lurus terhadap jahitan).

Pada DH₁:

Sudut kemiringan ke jahitan normal,	$l = 27,6^\circ$
Maju dari jurus,	$s = 7,$
kedalaman vertikal ke jahitan = $h + s/\theta$	$= 10 + (7/3,16) = 12,2,$
kedalaman kemiringan ke jahitan dari DH1: $ab = 12,2 \cdot \cos(17,6)$	$= 11,6,$
ketebalan jahitan, $bc = dt$	$= 15,2,$
jarak ke jahitan atas (S_{1T}) = $abc \cos l$	$= 11,6 / \cos(27,6) = 13,1,$
jarak ke jahitan dasar (S_{1B}) = $(ab+bc) / \cos l$	$= (11,6 + 15,2) / \cos(27,6) = 30,2,$
interval inti tampak $S_{1B} - S_{1T}$	$= 30,2 - 13,1 = 17,1$
atau, panjang inti = $dt / \cos l$	$= 15,2 / \cos(27,6) = 17,1m.$



Gambar 7.9 Bor Miring

7.6 KEDALAMAN KE LAPISAN

Setelah azimuth garis strike dan kemiringan sebenarnya, θ , telah ditentukan, maka kedalaman ke lapisan dapat dihitung di titik mana pun. Tingkat referensi awalnya adalah tingkat S0. Kedalaman ke lapisan kemudian bergantung pada jarak (jarak timur atau barat) dari garis strike. Mengacu pada Contoh Kerja 1 di Bagian 7.4 dengan asumsi tanah di sebelah barat DH0 datar (RL100) maka lapisan, 10m di bawah DH0, harus menembus permukaan sekitar 32m di sebelah barat pada garis kemiringan melalui DH0 (10 x kemiringan sebenarnya, $\theta = 31,6$). Gambar 7.10 adalah rencana program pengeboran. Bantalan dan jarak ke DH1 dan DH2 dari DH0 sesuai skala.

Kisi berskala 10m telah melapisi lapisan, berorientasi pada arah jurus. Dengan S0 sebagai titik acuan, kedalaman ke titik mana pun pada lapisan dapat dihitung dengan menskalakan ke arah kemiringan. Dengan inspeksi, S2 berskala muncul sekitar 101m di sebelah timur S0. Kedalaman ke S2 di bawah S0 = $101/3,16 = 31,9$. Ini sesuai dengan data asli 32m. Cara termudah untuk menentukan posisi pada kisi yang diputar adalah dengan mengatur

pada titik yang diketahui (misalkan DH0) dan menyetel Total Station ke nol pada azimuth jurus. Kisi Brg ke DH1 = $Az_{DH1} - Az_{Jurus} = 63 - 15 = 48^\circ$. Bidik ke DH1, perhatikan arahnya, kurangi 48° , putar ke arah baru. Kemudian Setel Nol TS [0 SET].

Misalnya, HAR ke DH1 = 105° , putar ke HAR ($105 - 48$) = 57° . Atur Nol ke azimuth strike. Jadi, setiap bearing dan jarak horizontal (H) dapat diubah ke dE lokal dan dN lokal dengan rumus persegi panjang standar, $dE = H \sin(\text{brg})$, $dN = H \cos(\text{brg})$. Kedalaman (h) ke jahitan di titik mana pun (referensi RL S0) dapat dihitung:

Contoh pengerjaan

Contoh Kerja 1, Titik DH P pada Gambar 7.10. Pada DH0, bidik diarahkan ke P,

$Az (HAR) = 70$, $ZA = 99^\circ 20'$, jarak lereng = 74m.

Grid Brg dari garis strike = 70° , Dist 73m. $dE = 70$, $dN = 21$.

$hP = dE \sin(\theta)$ / kemiringan sebenarnya,

$hP = 70 / 3,16 = 22,2\text{m}$ di bawah S0,

$RL_{SP} = RL_{S0} - hP = 90 - 22,2 = 67,8$.

Profil antara DH0 dan DH P ditunjukkan pada Gambar 7.11.

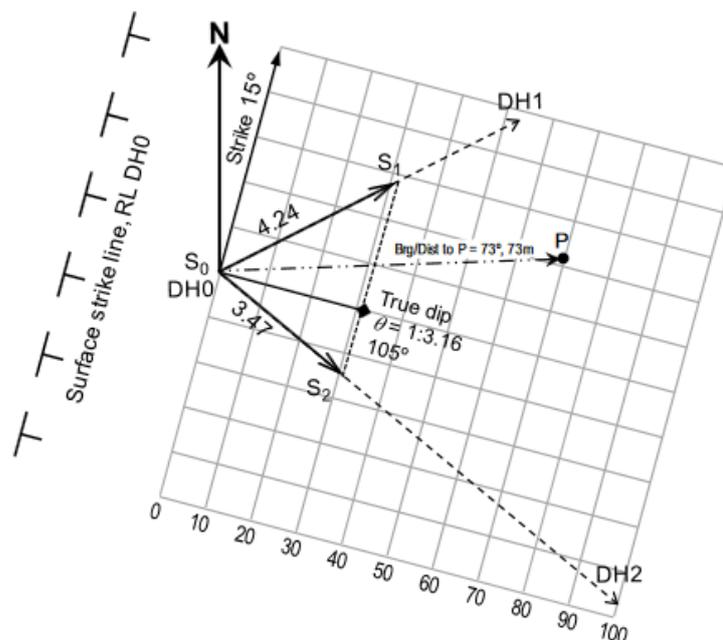
$RL_{SP} = 68\text{m}$, RL dari jahitan di P.

Dari DH1, $RL = 100$, perbedaan tinggi ke P,

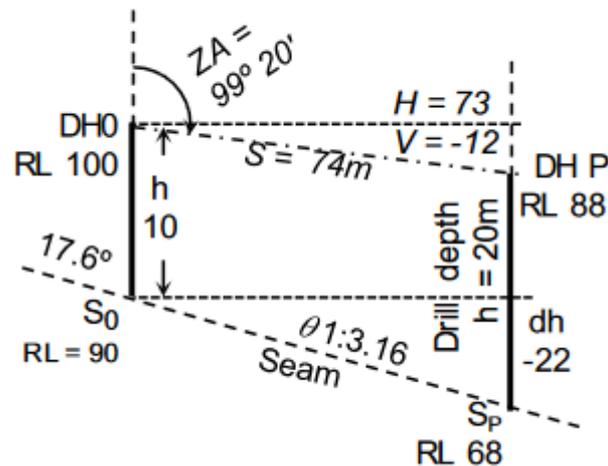
$dH = 74 \times \cos(99,33^\circ) = -12\text{m}$,

$RL_{DH\ P} = RL_{DH0} - dH = 100 - 12 = 88\text{m}$,

kedalaman jahitan di DH P = $88 - 68 = 20\text{m}$.



Gambar 7.10 Grid Berorientasi Pada Pemukulan



Gambar 7.11 Pengeboran Pada Contoh Pengerjaan 1

7.7 ARAH SETIAP LERENG DI ATAS PERMUKAAN KEMIRINGAN

Selidiki arah kemiringan tampak yang diinginkan. Gambarlah kemiringan tampak desain 1:6. Arah setiap kemiringan tampak dapat diwujudkan secara grafis dengan menskalakan kemiringan hingga bertemu dengan garis jurus yang tegak lurus dengan kemiringan sebenarnya. Akan ada dua perpotongan seperti yang diilustrasikan.

Gunakan kompas untuk menggambar radius kemiringan 6 satuan, θ_6 , pada skala yang sama yang digunakan untuk kemiringan sebenarnya, θ , untuk memotong garis jurus yang diperpanjang melalui S_1 , dan S_2 , Menggunakan Contoh Kerja 1 di Bagian 7.4. Gambar 7.12 menunjukkan kemiringan tampak 1:6 ($\theta = 6,9,5^\circ$). Busur derajat menunjukkan azimuth sekitar 47° atau 163° . Hitung sudut defleksi kemiringan, δ , antara kemiringan sebenarnya, θ , dan kemiringan semu, θ_6 , sebagai pemeriksa. Kita memiliki ekspresi (Persamaan 2) dari Bagian 0,:

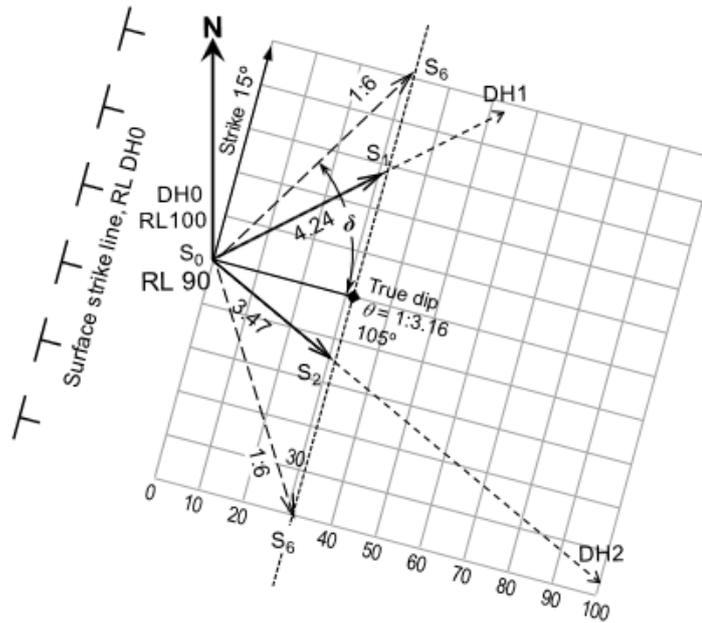
$$\tan \theta_6 = \tan \theta \cos \delta \text{ maka dari itu } \cos \delta = \frac{\tan \theta_6}{\tan \theta}$$

Sekarang: $\tan \theta_6$ adalah penurunan yang tampak, 1:6

$$1/6 = 0.6667$$

$\tan \theta$ adalah penurunan yang sebenarnya, 1:3.16 = 0.3165

$$\cos \delta = \frac{0.6667}{0.3165} = 0.5267 \quad \delta = 58.3^\circ$$



Gambar 7.12 Arah Kemiringan Tetap

Arah kemiringan tampak 1:6 = kemiringan sebenarnya $\pm \delta$
 = $105 + 58 = 163^\circ$ atau
 = $105 - 58 = 47^\circ$.

Hal ini sesuai dengan solusi grafis dan terserah kepada insinyur untuk memilih arah yang diperlukan. Titik mana pun pada garis dengan sudut 47° (atau 163°) akan memiliki kemiringan tampak 1:6 pada bidang sambungan ini. Pada jarak (H) 100m, kedalaman (h) ke bidang, di bawah DH0 pada S0, akan menjadi: $h = H \tan \theta$. $H = 100$, $h = 100/6 = 16,7m$. Dan dari Gambar 7.12, RL S0 = 90m. RL S6 = $90 - 17 = 73m$. Kita masih memerlukan RL di permukaan pada titik yang dipilih, DH6, untuk menetapkan kedalaman pengeboran ke lapisan. Ini akan dicapai dengan menggunakan Sudut Zenith (ZA) dan jarak lereng saat mengatur posisi DH6 dari DH0 seperti yang ditunjukkan pada contoh kerja 1.

7.8 SUDUT HORIZONTAL YANG DIPROYEKSIKAN KE BIDANG MIRING

Sudut defleksi yang telah dikembangkan untuk bidang kemiringan adalah sudut horizontal. Muncul pertanyaan tentang nilai sudut yang disertakan pada bidang miring. Teodolit mengukur sudut horizontal dan kemiringan (sudut vertikal). Hanya sekstan, yang membidik ke dua target pada bidang miring, yang dapat membaca sudut miring. "Metode lunar" astronomi memecahkan masalah bujur (waktu) dengan menggunakan sekstan untuk mengukur sudut miring antara bintang atau planet terang dan bulan.

Sudut miring diperlukan untuk pembuatan pipa atau siku saluran di sepanjang permukaan miring apa pun. Perbedaan sudut antara bidang horizontal dan miring mungkin tidak terlalu besar, tetapi mungkin signifikan pada kemiringan yang curam. Pada Gambar 7.13, AC₁ dan BC₁ miring ke bidang horizontal ACB. Kemiringan di A dan B masing-masing adalah α dan β .

sudut mendatar $ACB = \theta$,

sudut miring $AC_1B = \lambda$,

selisih tinggi $CC_1 = h$.

Sekarang:

$AC = h \cot \alpha$, $AC_1 = h \operatorname{cosec} \alpha \cot = 1/\tan$

$BC = h \cot \beta$ $BC_1 = h \operatorname{cosec} \beta \operatorname{cosec} = 1/\sin$.

Pada segitiga ACB , dengan aturan cos untuk sisi-sisinya,

$$AB^2 = AC^2 + BC^2 - 2AC \cdot BC \cos \theta,$$

$$AB^2 = h^2 \cot^2 \alpha + h^2 \cot^2 \beta - 2h^2 \cot \alpha \cot \beta \cos \theta.$$

Demikian pula pada segitiga AC_1B , dengan aturan cos untuk sisi-sisinya:

$$AB^2 = h^2 \operatorname{cosec}^2 \alpha + h^2 \operatorname{cosec}^2 \beta - 2h^2 \operatorname{cosec} \alpha \operatorname{cosec} \beta \cos \lambda.$$

Dengan kesamaan, dan suku-suku yang terkumpul:

$$\begin{aligned} h^2 \cot^2 \alpha + h^2 \cot^2 \beta - 2h^2 \cot \alpha \cot \beta \cos \theta &= h^2 \operatorname{cosec}^2 \alpha + h^2 \operatorname{cosec}^2 \beta - 2h^2 \operatorname{cosec} \alpha \operatorname{cosec} \beta \cos \lambda \\ 2h^2 \operatorname{cosec} \alpha \operatorname{cosec} \beta \cos \lambda &= h^2 \operatorname{cosec}^2 \alpha + h^2 \operatorname{cosec}^2 \beta - h^2 \cot^2 \alpha + h^2 \cot^2 \beta + 2h^2 \cot \alpha \cot \beta \cos \theta \\ 2h^2 \operatorname{cosec} \alpha \operatorname{cosec} \beta \cos \lambda &= h^2 (\operatorname{cosec}^2 \alpha + \operatorname{cosec}^2 \beta - \cot^2 \alpha + \cot^2 \beta + 2 \cot \alpha \cot \beta \cos \theta), \\ & \text{(gathering terms and cancelling } h^2) \end{aligned}$$

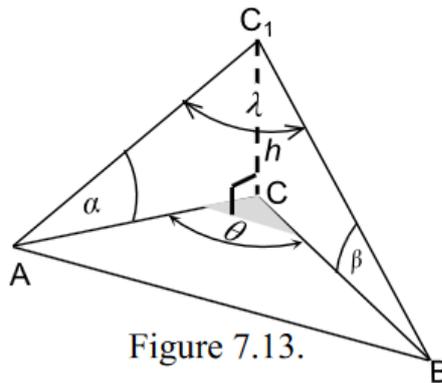


Figure 7.13.

Gambar 7.13 Bidang Horizontal Dan Bidang Miring

Dengan demikian, mengekspresikan kesamaan dalam hal sudut kemiringan λ

$$\cos \lambda = \frac{(\operatorname{cosec}^2 \alpha - \cot^2 \alpha) + (\operatorname{cosec}^2 \beta - \cot^2 \beta) + 2 \cot \alpha \cot \beta \cos \theta}{2 \operatorname{cosec} \alpha \operatorname{cosec} \beta}$$

Karena, dari pembuktian trigonometri umum: $1 + \cot^2 A = \operatorname{cosec}^2 A$, kemudian $\operatorname{cosec}^2 A - \cot^2 A = 1$ $\operatorname{cosec}^2 \alpha - \cot^2 \alpha = 1 = \operatorname{cosec}^2 \beta - \cot^2 \beta$.

$$\cos \lambda = \frac{1 + 1 + 2 \cot \alpha \cot \beta \cos \theta}{2 \operatorname{cosec} \alpha \operatorname{cosec} \beta} = \frac{2(1 + \cot \alpha \cot \beta \cos \theta)}{2 \operatorname{cosec} \alpha \operatorname{cosec} \beta} = \frac{\frac{1}{1} + \frac{1}{\tan \alpha} \frac{1}{\tan \beta} \frac{\cos \theta}{1}}{\frac{1}{\sin \alpha} \frac{1}{\sin \beta}}$$

$$\cos \lambda = \sin \alpha \sin \beta + \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\sin \alpha \sin \beta} \cos \theta \frac{\sin \alpha \sin \beta}{1 \cdot 1}$$

dan membatalkan melalui by $\sin \alpha$ dan $\cos \beta$:

$$\cos \lambda = \sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta \cos \theta$$

Ekstrak sudut horizontal, θ , dalam bentuk kemiringan dan sudut miring, λ .

$$\cos \theta = \frac{\cos \lambda - \sin \alpha \sin \beta}{\cos \alpha \cos \beta}$$

Rumus tersebut peka terhadap tanda kemiringan dua garis di persimpangan (tikungan). Penurunan yang terus menerus akan memiliki satu kemiringan positif ke, dan satu kemiringan negatif menjauhi, persimpangan.

Contoh Kerja 2

Sebuah pipa akan dipasang di sepanjang dua penurunan yang berpotongan. Koordinat penyangga pipa memberikan informasi berikut:

- Sudut horizontal di tikungan adalah 63°
- Satu penurunan, A-C₁, naik pada gradien 1:3.
- Penurunan kedua, B-C₁, naik pada gradien 1:4

Kedua penurunan naik ke persimpangan, sehingga setiap gradien positif ke titik tertinggi. Tentukan sudut kemiringan di persimpangan, C₁:

$$C = \theta = 36^\circ$$

$$A = \alpha = A \tan (1/3) = 18.43^\circ$$

$$B = \beta = A \tan (1/4) = 14.03^\circ$$

Rumus:

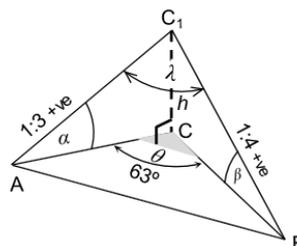
$$\cos \lambda = \sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta \cos \theta$$

Solusi:

$$\begin{aligned} \cos \lambda &= \sin(18.43)\sin(14.03) + \cos(18.43)\cos(14.03)\cos(63) \\ &= 0.316 \cdot 0.242 + 0.949 \cdot 0.97 \cdot 0.454 \\ &= 0.077 + 0.417 = 0.494 \end{aligned}$$

$$\lambda = 60.36^\circ$$

Sudut miring, C₁ = $60^\circ 21'$



Gambar 7.14 Contoh Yang Dikerjakan, Kedua Nilai Positif, “Naik”

Contoh Kerja 3

Sebuah pipa akan dipasang di sepanjang dua lereng yang berpotongan. Koordinat penyangga pipa memberikan informasi berikut:

- Sudut horizontal pada tikungan adalah 63°
- satu lereng, A-C₁, naik pada gradien 1:3.
- lereng kedua, C₁-B, terus naik pada gradien 1:4.
- Satu lereng naik ke persimpangan, C₁,
- lereng lainnya terus naik dari C₁
- jadi satu gradien positif A-C₁ dan yang lainnya negatif B-C₁.

Tentukan sudut miring di persimpangan, C₁

Data:

$$C = \theta = 63^\circ$$

$$A = \alpha = A \tan(1/3) = 18.43^\circ$$

$$B = \beta = A \tan(1/-4) = -14.03^\circ$$

Rumus:

$$\cos\lambda = \sin\alpha\sin\beta + \cos\alpha\cos\beta\cos\theta$$

Solusi:

$$\cos\lambda = \sin(18.43)\sin(-14.03) + \cos(-18.43)\cos(-14.03)\cos(63)$$

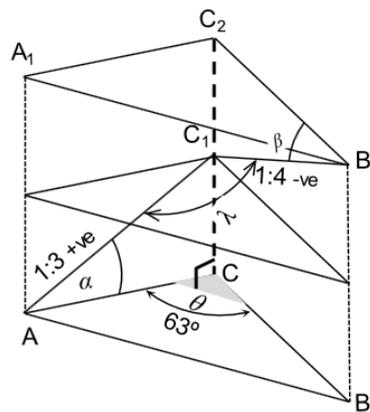
$$= 0.316 - 0.242 + 0.949 \cdot 0.97 \cdot 0.454$$

$$= -0.077 + 0.417$$

$$\cos\lambda = 0.340$$

$$\lambda = 70.14^\circ$$

Sudut miring, C₁ = $70^\circ 08'$



Gambar 7.15 Nilai Naik Dan Turun

Perhatikan bahwa hanya sinus yang berubah tanda saat tanda kemiringan berubah. Jika kedua kemiringan negatif, hal itu tidak menjadi masalah karena hasil perkalian kedua sinus negatif adalah positif, seperti pada Contoh 1.

Ringkasan

Bab ini merupakan demonstrasi elemen yang digunakan untuk menghitung pada bidang kemiringan. Kami berharap telah menunjukkan bahwa proses tersebut, dalam kasus sederhana, dapat diselesaikan di lapangan, baik dengan matematika sederhana maupun dengan cara grafis. Mata kuliah Geologi Struktural memperkenalkan subjek bidang miring. Mata kuliah ini belum diteliti karena referensi pada bab ini mencakup subjek tersebut secara lebih lengkap dari aspek survei dan komputasi.

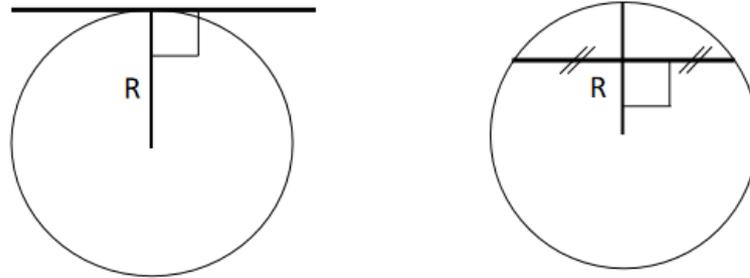
BAB 8

LENGKUNG MELINGKAR

8.1 PENDAHULUAN

Di akhir Bab ini dan setelah mempelajari materi praktik kerja lapangan dan lokakarya, Anda harus:

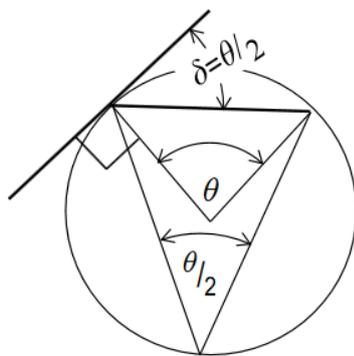
- a. Memahami sifat geometris lengkung melingkar.
- b. Membedakan berbagai jenis lengkung horizontal.
- c. Mendesain lengkung dengan jari-jari konstan untuk menyambung ruas jalan dan rel kereta api yang lurus.
- d. Memahami pemetaan dasar yang diperlukan untuk membantu teknisi dalam memilih alinyemen jalan atau rel kereta api.
- e. Menetapkan lengkung melingkar menggunakan panjang tali busur dan sudut defleksi; offset dari tali busur panjang; atau metode koordinat.
- f. Memahami bagaimana lengkung sederhana dapat digabungkan menjadi lengkung gabungan dan lengkung terbalik.
- g. Lengkung Horizontal terdiri dari lengkung melingkar dan lengkung transisi. Lengkung ini digunakan untuk:
 - Memastikan bahwa kendaraan melaju dengan aman dari satu ruas jalan atau rel ke ruas lainnya.
 - Mencapai alinyemen horizontal, yaitu kombinasi kurva horizontal dan garis lurus yang digunakan dalam desain.
- h. Kurva melingkar memiliki radius yang seragam.
- i. Kurva transisi memiliki radius yang bervariasi dan digunakan:
 - Untuk memperkenalkan gaya radial secara bertahap dan seragam guna meminimalkan ketidaknyamanan penumpang
 - Untuk memperkenalkan superelevasi secara bertahap, yang melibatkan peningkatan salah satu saluran jalan relatif terhadap yang lain dan memungkinkan efek gaya radial dikurangi.
 - Bersamaan dengan kurva melingkar untuk membentuk kurva komposit atau berpasangan untuk membentuk kurva transisi sepenuhnya. Kurva melingkar digunakan dalam digunakan dalam alinyemen Jalan dan Rel.
- j. Jalan lurus akan ideal tetapi kendala medan, misalnya, bukit, bangunan, sungai, dll. tidak memungkinkan.
- k. Dengan demikian alinyemen horizontal menghubungkan garis lurus masing-masing (disebut garis singgung). Alignmen dipilih pada peta digital yang menunjukkan kontur, fitur permukaan alami, dan jenis tanah.
- l. Di daerah perbukitan, alinyemen mungkin seluruhnya terdiri dari kurva (lingkaran dan transisi).



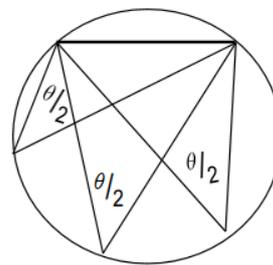
1. Tangent and Chord to a circle.
- The RADIUS and TANGENT are PERPENDICULAR.

- The RADIUS is PERPENDICULAR to the CHORD at its midpoint.

Gambar 8.1 Sifat-Sifat Lingkaran Garis Tangen Dan Barisan



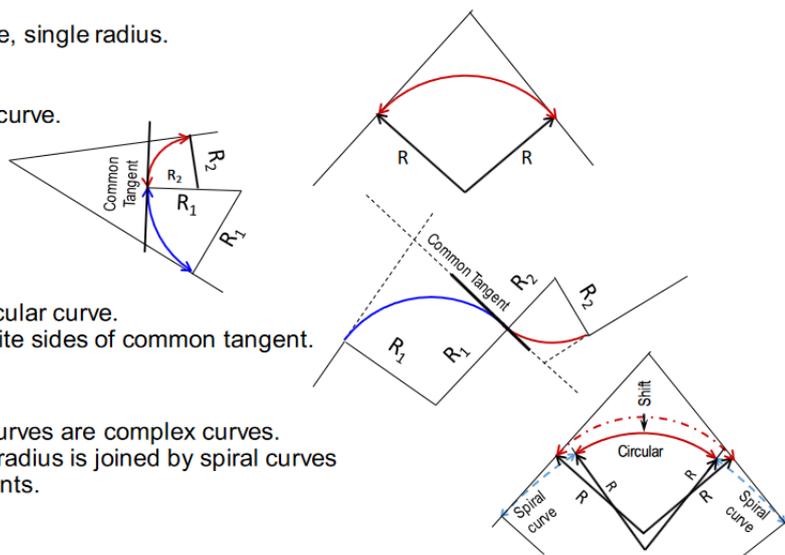
2. Deflection at the centre.
- DEFLECTION is the angle, θ , between the chord radii from the CENTRE of the circle.



3. Subtended angles:
- The subtended angle, $\theta/2$, from the circle circumference is HALF the DEFLECTION angle at the centre of the CIRCLE.
 - The subtended angle, $\delta = \theta/2$, is also the angle between the TANGENT and the CHORD.

Gambar 8.2 Sudut Defleksi, Sudut-Sudut Yang Dibentuk Terhadap Suatu Tali Busur

- Simple curve, single radius.
- Compound curve. Different radii, common tangent.
- Reverse circular curve. Radii opposite sides of common tangent.
- Transition curves are complex curves. The shifted radius is joined by spiral curves to the tangents.



Gambar 8.3 Jenis Kurva Melingkar

8.2 MEMBUAT KURVA LINGKARAN - PROSES VISUALISASI

Kurva lingkaran adalah gambar sederhana yang menggabungkan dua garis lurus. Kurva ini sangat indah setelah dibuat di lapangan. Namun, kurva ini juga sedikit misterius dalam pembuatannya, hingga dasar-dasarnya dikuasai. Pengembangan kurva lingkaran paling baik diilustrasikan dengan membangun elemen-elemen kurva.

Rumus Dasar

Semua perhitungan LINGKARAN dilakukan dalam RADIANS. $360^\circ = 2\pi$ (6,2832) radian. Busur, $S = R\theta$ (radian). Gambar 8.4 menunjukkan kurva sederhana dengan RADIUS tertentu, R , yang menggabungkan dua garis lurus yang berpotongan. Garis lurus tersebut berbeda arah dengan sudut DEFLEKSI, Δ (delta) derajat, di TITIK PERPOTONGAN (IP). Kurva tersebut memiliki PUSAT di perpotongan dua jari-jari yang tegak lurus terhadap dua garis lurus dan merupakan TITIK SINGGEN terhadap kurva. Jari-jari tersebut tegak lurus terhadap garis lurus PADA TITIK SINGGEN. Sudut DEFLEKSI, θ (theta), di pusat busur sama dengan sudut defleksi, Δ , di titik perpotongan (IP).

PANJANG, S , dari BUSUR antara dua titik singgung, TP, diberikan oleh ekspresi: $S = R\theta$ radian Kurva masuk dimulai pada titik singgung, TITIK KELENGKUNGAN, PC, dan keluarnya berakhir pada titik singgung lainnya, TITIK SINGGEN, PT. Contoh: Jari-jari, $R = 200$

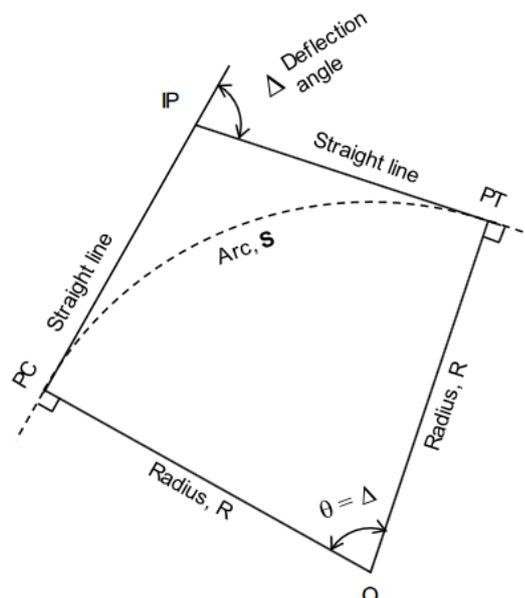
Sudut defleksi di IP, $\Delta = 80^\circ$

maka $\theta = 80 \cdot \pi/180 = 1,3963$ radian

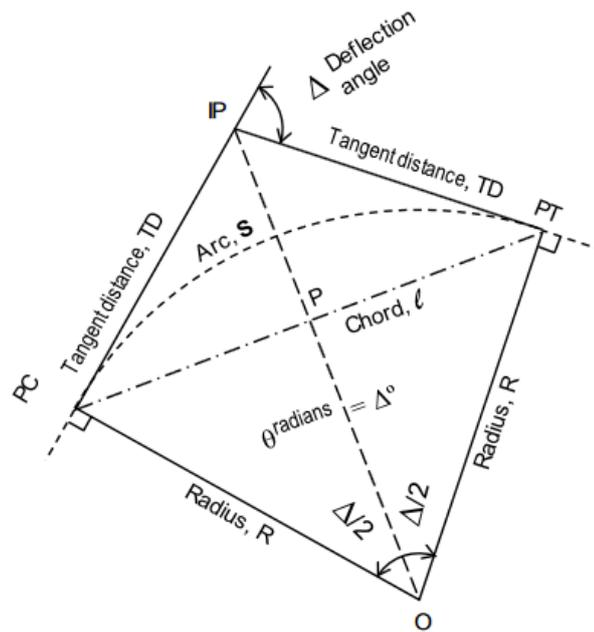
Busur, $S = 279,253$

Jarak Singgung

Garis O-IP, yang menghubungkan IP dan pusat, O, membagi dua sudut defleksi, Δ . Segitiga O-PC-IP dan O-PT-IP sama besar. Panjang garis lurus dari PC ke IP dan IP ke PT adalah JARAK SINGGUNG, TD.



Gambar 8.4 Definisi Kurva Sederhana



Gambar 8.5 Geometri Awal Kurva

Dari trigonometri bidang, TD adalah sisi yang berlawanan, dan jari-jari, R, adalah sisi yang berdekatan dari segitiga PC-O-IP dari sudut defleksi setengah $\Delta/2$.

Pada Gambar 8.5 dan Gambar 8.6, pada segitiga O-PC-IP,

$$\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) = \frac{\text{opp}}{\text{adj}} = \frac{TD}{R}$$

$$TD = R \tan(\Delta/2) = 200 \tan(40^\circ) = 167.820$$

Kedua jarak singgung tersebut sama: PC ke IP = IP ke PT

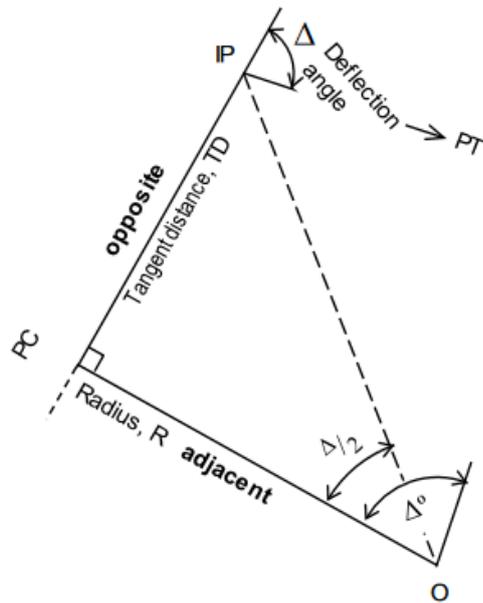
Tali Panjang

Tali Panjang, Gambar 8.5, dari PC ke PT terdiri dari dua tali setengah, PC – P, dan P – PT. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.7, dalam segitiga O-PC-P

$$\sin\frac{\Delta}{2} = \frac{\text{opp}}{\text{hypot}} = \frac{\ell/2}{R}. \text{ Thus } \ell/2 = R \sin\frac{\Delta}{2}$$

Tali busur panjang, dengan panjang ℓ , yang menghubungkan PC dengan PT adalah:

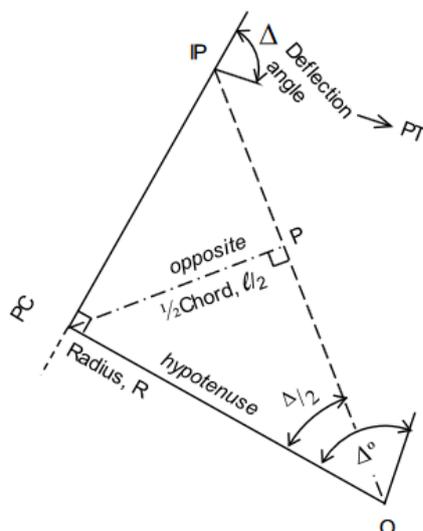
$$\ell = 2R \sin(\Delta/2) = 400 \sin(40^\circ) = 257.115$$



Gambar 8.6 Jarak Tangen

Sudut antara garis garis singgung dan busur pada titik singgung adalah sudut defleksi busur pada titik singgung, yang diberi label δ (delta), adalah setengah dari sudut defleksi BARIS PADA TITIK. $\delta^\circ = \Delta^\circ/2$. Jadi, pada Gambar 8.8, setiap titik, p, pada busur pada jarak busur, s, dari titik singgung, adalah tangensial terhadap busur pada p ke arah pusat, O. Perhatikan perbedaan antara panjang busur, S, dan busur, l.

Panjang busur, $S = 279,253$,
 panjang tali busur $l = 257,115$.



Gambar 8.7 Jarak Setengah Tali Busur

Sudut Defleksi Tali Busur

Maka, jika: $sp = R\theta_p$, maka defleksi TANGEN

$\theta_{p(\text{radian})} = sp/R$ dan sudutnya, dalam derajat, adalah:

$$\Delta p^\circ = \theta_p 180/\pi$$

Defleksi tali busur dari titik tangen ke p adalah:

$$\delta p^\circ = \Delta p/2$$

dan JARAK tali busur adalah:

$$l_p = 2R \sin(\delta p^\circ)$$

Dari rumus ini, kita sekarang dapat mulai menemukan beberapa solusi untuk masalah kurva melingkar yang umum.

Contoh Kerja 1

Misalkan titik p berada 150m di sekitar kurva dari PC, Gambar 8.8. Temukan koordinat P. panjang busur, $s = 150$ $s_p = 150$, $R = 200$ ingat, karena $S_p = R\theta_p$, maka $\theta_p = s_p/R$

$$\theta_p = 150/200 = 0.75 \text{ radians}$$

$$\Delta_p = 42.972^\circ = 42^\circ 58' 19''$$

$$\delta_p = 21.486^\circ = 21^\circ 29' 09''$$

$$l_p = 2R \sin(\delta p) = 400 \sin(21^\circ 29' 09'') = 146.509$$

BEARING dari CHORD pada titik singgung adalah BEARING dari PC ke IP DITAMBAH sudut lendutan TANGEN, δp .

$$BRG_{PC} - IP = 35^\circ 20' 30''$$

$$\delta_p = 21^\circ 29' 09''$$

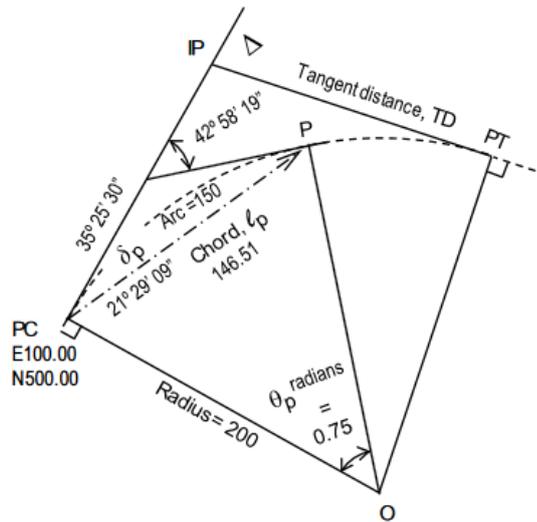
$$BRG_{PC} - p = 56^\circ 49' 39''$$

$$l_p = 146.509$$

Vektor antara PC dan p dapat diubah menjadi koordinat persegi panjang:

$$\delta E_p = l_p \sin(BRG), \delta N_p = l_p \cos(BRG)$$

Jika koordinat PC diketahui, maka: $E_p = E_{PC} + \delta E_p$ dan $N_p = N_{PC} + \delta N_p$. Perhatikan bahwa titik-titik sepanjang kurva TERPENDAR dari PC.



Gambar 8.8 Sudut Defleksi Dan Panjang Tali Busur Untuk Panjang Busur Tertentu

Semua δE_s dan δN_s yang dihitung ditambahkan ke koordinat PC. Temukan koordinat p dari PC E100,00, N500,00

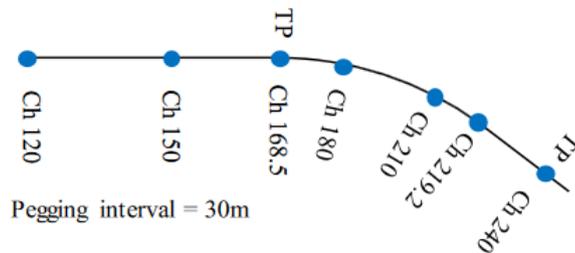
$$BRG_p = 56^\circ 49' 39", l_p = 146.509 \Rightarrow \delta E_p = 122.632, \delta N_p = 80.16$$

$$E_p = 222.632$$

$$N_p = 580.164$$

Chainage

Dalam banyak pekerjaan survei, kata chainage digunakan untuk menyatakan jarak linier dari suatu titik awal, berbeda dengan jarak antara dua titik (lihat Gambar 8.9). Biasanya, jarak tersebut adalah jarak sebenarnya dari titik awal jalan atau rel kereta api ke titik-titik di sepanjang pembangunan. Dalam desain awal kurva, beberapa nilai CHAINAGE akan ditentukan. Chainage ini umumnya berlaku sejak awal proyek di sepanjang garis lurus yang menentukan jalur proyek.



Gambar 8.9 Melalui Rantai

Pada Gambar 8.10, rantai bertambah dari Z sepanjang jalan lurus ke titik TP1 tempat kurva melingkar dimulai. Rantai dapat:

1. Bertambah sepanjang jalan lurus ke titik persimpangan (IP) Ini hanya digunakan untuk jalan awal sebelum kurva dirancang

$$CH_{IP} = CH_{TP1} + TD$$

(2) Meningkatkan sepanjang kurva ke TP2 - Digunakan untuk konstruksi jalan.

$$CH_{TP2} = CH_{TP1} + S$$

Dalam desain lengkung, ini berarti bahwa rantai akan ditentukan untuk setiap IP. Ketika jari-jari lengkung ditentukan, maka RANTAI MELALUI lintasan lurus dan lengkung akan dihitung.

Interval rantai pada jarak yang ditetapkan, tergantung pada desain, akan digunakan (misalnya setiap 50m). Gambar 8.11 menunjukkan CH_{pc} , jarak tangen, dan panjang busur: PC rantai = IP rantai dikurangi jarak tangen.

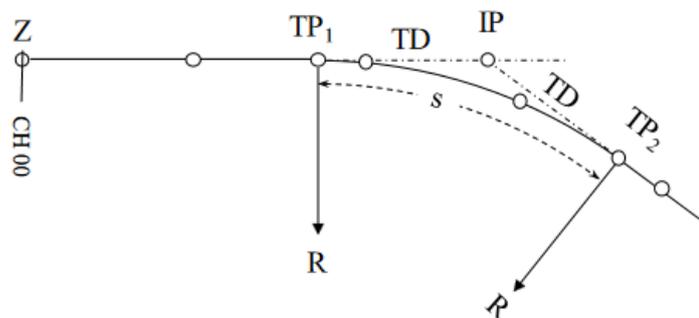
$$CH_{pc} = CH_{ip} - TD = 1496.27 - 167.820 = 1328.450$$

Rantai tembus titik berikutnya pada kurva akan menjadi kelipatan interval rantai, katakanlah 50m, = CH1350. Jalur rantai PT = jalur rantai PC ditambah panjang busur, S.

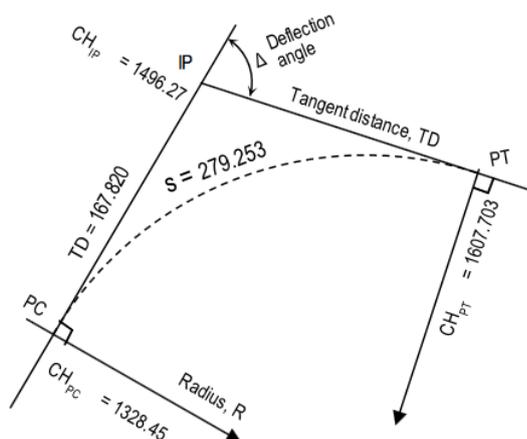
$$CH_{pt} = CH_{pc} + S$$

$$CH_{pt} = 1328.450 + 279.253 = 1607.703$$

Chainage PT TIDAK sama dengan $CH_{IP} + TD$.



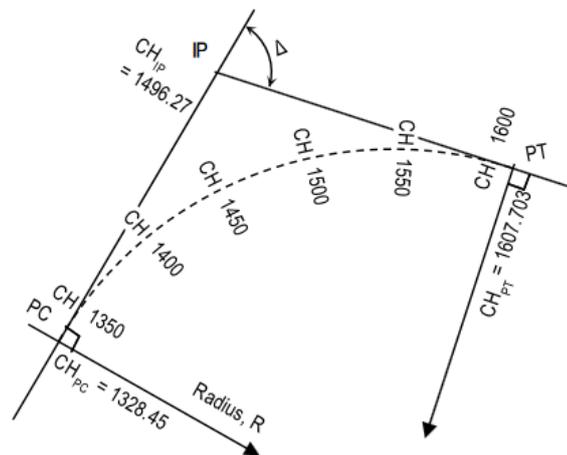
Gambar 8.10 Rantai Pada Titik Persimpangan



Gambar 8.11 Rantai utama

Selain chainage yang menentukan perubahan arah, yaitu di PC dan PT, semua perhitungan lain pada kurva umumnya dilakukan pada interval chainage yang ditentukan. Jadi, pada Gambar 8.12, dengan interval chainage 50m, titik-titik pada kurva akan ditandai oleh chainage genap 50m di sekitar busur dari PC ke PT. Jarak busur tembus, dari PC, dapat ditabulasikan untuk perhitungan defleksi tali busur dan jarak: $CH_{PC} = 1328.450$, titik-titik berikutnya, hingga $CH_{PT} = 1607.703$, adalah:

$$\begin{aligned} CH_{1350} &= 1350.000 \quad s = 21.550 \\ CH_{1400} &= 1400.000 \quad s = 71.550 \\ CH_{1450} &= 1450.000 \quad s = 121.550 \\ CH_{1500} &= 1500.000 \quad s = 171.550 \\ CH_{1550} &= 1550.000 \quad s = 221.550 \\ CH_{1600} &= 1600.000 \quad s = 271.550 \\ CH_{PT} &= 1607.703, \quad s = 279.253 \end{aligned}$$



Gambar 8.12 Melalui Rantai

Tabel 8.1 Solusi Setout Kurva

Chainage	s	$\theta_p = s_p/R$	$\delta_p = \Delta/2$	Brg l_p	$l_p = 2R \cdot \sin(\delta_p)$	δE_p	δN_p	E_p	N_p
CH_{PC}	0.000	0.0	0 00 00	35 20 30	0.00	0.00	0.00	100.00	500.00
CH_{1350}	21.550	0.108	3 05 12	38 25 42	21.54	13.39	16.87	113.39	516.87
CH_{1400}	71.550	0.378	10 14 56	45 35 26	71.17	50.84	49.80	150.84	549.80
CH_{1450}	121.550	0.608	17 24 39	52 45 09	119.69	95.28	72.44	195.28	572.44
CH_{1500}	171.550	0.858	24 34 22	59 54 52	166.34	143.93	83.38	243.93	583.38
CH_{1550}	221.550	1.108	31 39 21	66 59 51	209.93	193.24	82.03	293.24	582.03
CH_{1600}	271.550	1.358	38 53 48	74 14 18	251.17	241.73	68.23	341.73	568.23
CH_{PT}	279.253	1.396	40 00 00	75 20 30	257.12	248.75	65.06	348.75	565.06

Ini adalah panjang busur dari PC ke PT. Ini adalah pemeriksaan matematika Anda. Tabel (Tabel 8-1) sudut defleksi, bantalan dan panjang tali busur, perbedaan koordinat, δE_p , δN_p , dan

koordinat, Ep, Np sekarang dapat disusun menggunakan rumus turunan: merujuk pada Gambar 8.8: Bantalan awal, PC-IP = 35° 20' 30". Radius R = 200m, sudut defleksi, $\Delta = 80^\circ$, interval rantai 50m. Periksa: Sudut defleksi dari PC - PT, $\delta = 40^\circ = \frac{1}{2}\Delta$. Jarak PC - PT = $l_p = 2R\sin(\frac{1}{2}\Delta) = 257,12$.

Lengkungan Masuk, Lengkungan Melewati, dan Lengkungan Keluar. Alat Setout dan Pemeriksaan

Menghitung CHORD; untuk lengkung pertama (lengkungan masuk), interval rantai (lengkungan melalui), dan lengkung terakhir (lengkungan keluar), memungkinkan pemeriksaan set-out kurva. Pada kurva panjang, sudut defleksi rantai tembus dan chord diperlukan untuk memajukan stasiun set-up Total Station. Merujuk ke

$$\begin{aligned} \text{In arc} &= 1350 - 1328.45 &&= 21.55 \\ \delta &= \frac{1}{2}(21.55/200)^R &&= 0.054^R = 3^\circ 08' 12'' \\ \text{in chord} &= 2R\sin(\delta), &&\text{in chord} = 21.54 \\ \\ \text{Through arc} &= \text{Chainage interval} = 50 \\ \delta &= \frac{1}{2}(50/200) &&= 0.125^R = 7^\circ 09' 43'' \\ \text{through chord} &&&= 49.87 \\ \\ \text{Out arc} &= 1607.703 - 1600 &&= 7.703 \\ \delta &= \frac{1}{2}(7.703/200) &&= 0.019^R = 1^\circ 06' 12'' \\ \text{out chord} &&&= 7.702 \end{aligned}$$

Menghitung Kurva Lingkaran: Definisi dan Rumus

Kurva sederhana

- ASB adalah kurva sederhana dengan jari-jari R yang menghubungkan dua garis lurus EA dan BF (Lihat Gambar 8.13)
- A dan B adalah titik singgung dan garis lurus tersebut dibuat untuk bertemu di D (titik potong atau titik potong, PI atau IP).
- AD, BD adalah garis singgung kurva dan $AD = BD$. Δ adalah sudut defleksi. 4) Sudut defleksi, Δ , sama dengan sudut di pusat, $\angle ACB$
- Segitiga ADC dan BDC kongruen dan $\angle ACD = \angle BCD = \Delta/2$
- Titik S, pada busur ASB, memiliki sudut defleksi $\angle DAS = \delta$, yang merupakan setengah dari sudut $\angle ACS = 2\delta$.

Menurut definisi:

ARAH JARI-JARI tegak lurus terhadap GARIS SINGGUNG.

Jari-jari Brg = Garis Singgung Brg $\pm 90^\circ$

Rumus

- Jarak Singgung AD = $R \cdot \tan \Delta/2$
- Jari-jari (R) = Jarak Singgung (AD) $\cdot \cot \Delta/2$ ($\cot = 1/\tan$)
- Panjang busur (AB) = $R \cdot \Delta$ (Δ diukur dalam radian)
- Jarak Sekan (DC) = $R \cdot \sec \Delta/2$ ($\sec = 1/\cos$)
- Sekan Mahkota (DH) = $R \cdot \sec \Delta/2 - R = R \cdot (\sec \Delta/2 - 1)$
- Jarak Mahkota (JH) = $R - R \cdot \cos \Delta/2 = R \cdot (1 - \cos \Delta/2) = (R \cdot \text{Vers } \Delta/2)$

- g. Tali busur panjang (AB) = $2R \cdot \sin \Delta/2$
 h. Tali busur (AS) = $2R \cdot \sin \delta$

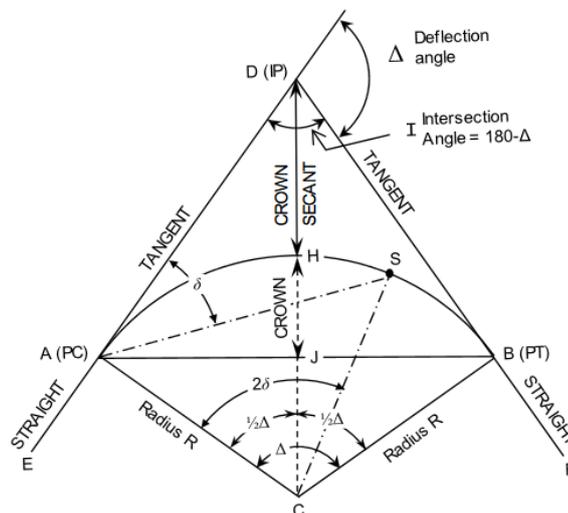
8.3 MENATA KURVA LINGKARAN

1. Menata titik-titik utama - TP₁, IP, dan TP₂.

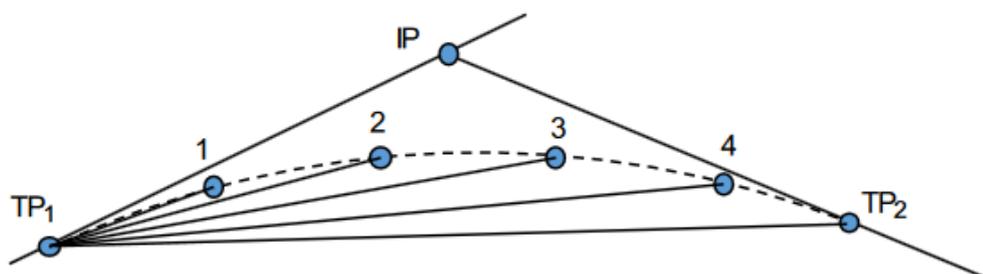
- a. Menata titik tengah kurva, mahkota (H), jika diperlukan. Mengukur dari IP ke mahkota, jarak sekan mahkota, merupakan pemeriksaan yang baik.
- b. Menandai garis tengah kurva lingkaran dengan:
- Sudut defleksi dan tali busur – akan dibahas dalam Bab ini, lokakarya, dan praktik.
 - Offset tangen
 - Offset akord
 - Radiasi menggunakan koordinat

Langkah-langkah pengaturan menggunakan sudut defleksi dan metode akord (Gambar 8.14):

1. Siapkan Total Station di TP₁
2. Arahkan ke Titik persimpangan, - IP, dan atur arah horizontal ke nol [0 SET].
3. Putar sudut defleksi titik pertama, ukur dan tandai panjang akord, $l_1 = 2R \sin \delta_1$.
4. Putar sudut defleksi titik kedua, ukur dan tandai panjang akord, $l_2 = 2R \sin \delta_2$.
5. Lanjutkan hingga Anda mencapai TP₂.



Gambar 8.13 Mendefinisikan Kurva Melingkar



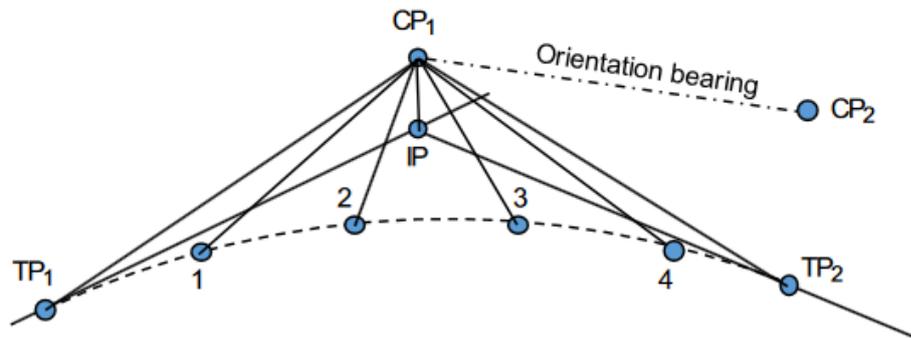
Gambar 8.14 Menata Kurva Lingkaran, Sudut Defleksi Dan Metode Tali Busur

Pemeriksaan – Metode Defleksi/Akord

- Lakukan pemeriksaan visual - apakah kurva terlihat benar.
- Ukur jarak ke titik tengah kurva, mahkota, dan TP₂.
- Ukur sudut defleksi ke titik tengah kurva, mahkota, dan TP₂.
- Ukur jarak antara titik-titik yang dipatok. Akord masuk, tembus, dan keluar.
- Periksa jari-jari ke titik-titik yang dipatok, jika titik tengah dapat diakses.
- Ulangi pegging dari TP₂.
- pasak harus berada di titik yang sama dengan yang dari TP₁.

Langkah-langkah pengaturan menggunakan metode koordinat (Gambar 8.15):

1. Perhitungan, tentukan koordinat semua titik yang akan dipatok – TP₁, TP₂, IP, mahkota, dan semua titik rantai.
2. Atur Total Station pada setiap titik kontrol terkoordinasi yang diketahui, CP₁, dan pandangan belakang ke titik kontrol terkoordinasi kedua, CP₂.
3. Atur bearing BS, [H.ANG], di Total Station.
4. Hitung bearing dan jarak ke setiap titik pada kurva yang akan dipatok dari CP₁.
5. Matikan bearing dan ukur jarak ke setiap titik pada kurva yang akan dipatok.



Gambar 8.15 Menata Kurva Melingkar Menggunakan Metode Koordinat

Pemeriksaan – Metode Koordinat

- Ukur bearing dan jarak ke titik kontrol ketiga - periksa titik kontrol.
- Lakukan pemeriksaan visual - apakah kurva terlihat benar.
- Ukur jarak antara titik yang dipatok. Tali busur masuk, melalui, dan keluar.
- Periksa jari-jari ke titik yang dipatok, jika titik tengah dapat diakses.
- Ulangi pemasangan patok dari titik kontrol kedua - patok harus sesuai.

8.4 PERHITUNGAN UNTUK LATIHAN PRAKTIK LAPANGAN

Praktik lapangan 5 melibatkan penetapan garis tengah kurva melingkar yang telah ditentukan, yang mana kelompok Anda akan diberikan instruksi lengkap. Sebelum Praktik Lapangan 5, setiap anggota kelompok diharapkan menghitung satu set lengkap data kurva melingkar untuk dipresentasikan kepada penguji sebelum dimulainya Praktik Lapangan. Gambar 8.16 menunjukkan kurva yang dirancang di sekitar satu set parameter, yang

ditentukan oleh: garis tengah; Jari-jari kurva, sudut defleksi pada PI, titik kelengkungan; koordinat PC, rantai PC. Titik perpotongan; sudut defleksi, koordinat PI, orientasi, PC ke PI, rantai PI. Data formasi; perkerasan, bahu jalan, dan lebar formasi.

Perhitungan Kurva Desain

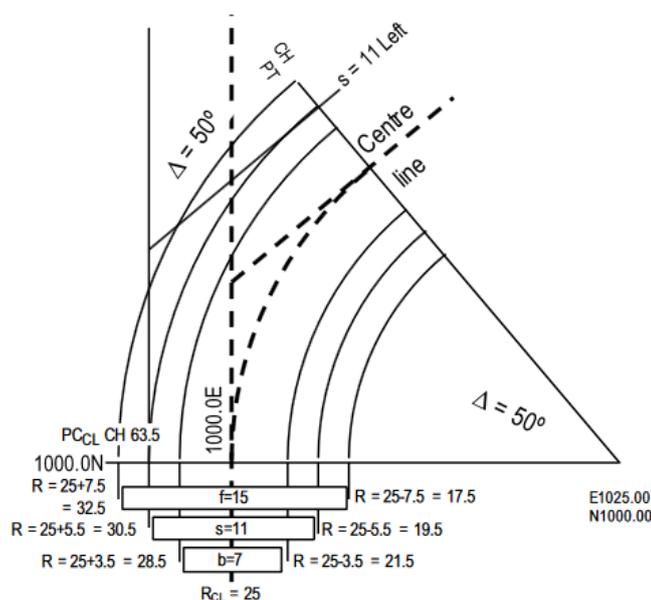
Spesifikasi berikut adalah contoh data kurva yang akan Anda gunakan untuk menghitung kurva desain, lihat Gambar 8.16. Parameter desain untuk belokan lengkung ke

LENGKUNG KANAN	M1
Arah awal garis singgung	Brg IP = 360
Jalur rantai PC (TP1)	CH = 63,5
Koordinat PC (TP1)	E = 1000.000
Koordinat PC (TP1)	N = 1000.000
Radius desain Garis tengah	R = 25,0
Sudut defleksi desain Δ	$\Delta = 70^\circ$
Interval melalui rantai	s = 10
Offset garis tengah	o = 0
Lebar perkerasan	b = 7
Lebar bahu jalan	s = 11
Lebar formasi	f = 15

Selalu gambar diagram dan beri label semua data yang diberikan. Dengan diagram lengkung, sering kali perlu untuk membesar-besarkan sudut defleksi yang memungkinkan pelabelan ketika sudut defleksi, Δ , kecil dan radius, R, besar.

Radius Lengkung dari Profil Desain

Profil jalan sederhana diilustrasikan pada Gambar 8.17, yang menunjukkan bahwa desainnya simetris di sekitar garis tengah. Analogi simetri dibawa dari Bagian 3.4.



Gambar 8.16 Contoh Latihan Praktik Lapangan

Anda diberi kurva M1 bahu kiri trotoar, $s = 11$, Anda harus mendapatkan parameter ANDA: sudut defleksi, $\Delta = 50^\circ$

radius = radius CL \pm (lebar/2) = 25 + 5,5

(kurva berbelok ke kanan, pusat ke kanan radius bertambah)

$R = 30,5$

CHPC = 63,5

(pusat tegak lurus dengan titik singgung, semua rantai sama)

PC E = CL E \pm (lebar/2) = 1000,00 - 5,5

(kurva berbelok ke kanan, titik tengah ke kanan, E menurun)

PC E = **994,5**

PC N = CL N = **1000,00**

(Brg IP = 360°, jadi, tidak ada pergeseran N karena haluan atau formasi (jarak lebar/2).

Gambar 8.18 menunjukkan berbagai rantai pada koordinat PT dan koordinat Timur PC.

Koordinat formasi IP adalah: IP E = PC E = 994,5 = **994,50E**

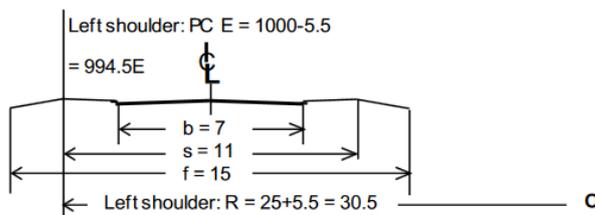
(Brg = 360°, N lurus dari PCE) $TD = R \cdot \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 30,5 \tan(25) = 14,22$

IP N = PC N + TD = 1000,00 + 14,22 = **1014,22N**

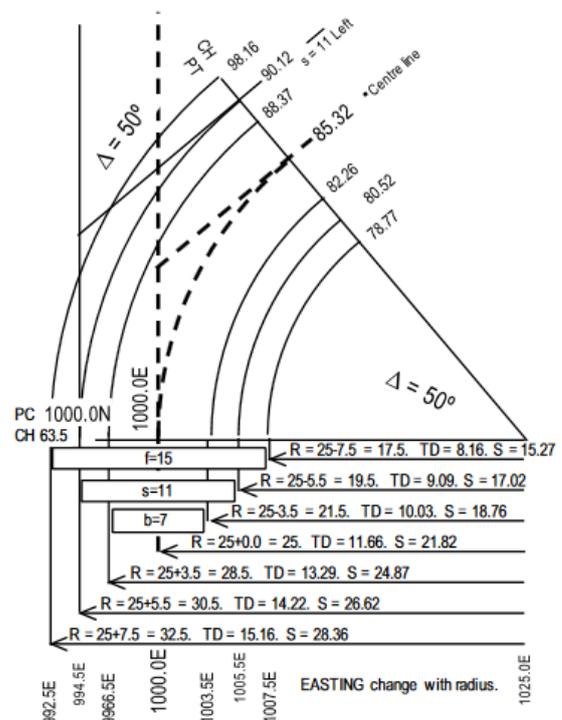
Panjang busur, $S = R \cdot \Delta \text{radian} = 30,5 \cdot (50, \pi/180) = 30,5 \times 0,8727 = 26,616$,

dan dengan demikian, CHPT (formasi kanan) $CHPC + S = 63,5 + 26,62 = 90,116$

(Akhir kurva).



Gambar 8.17 Radius dan Easting PC



Gambar 8.18 Rantai Dan Koordinat

Dalam banyak kasus, Anda akan diberikan koordinat dan chainage IP, sudut defleksi, Δ , dan radius, R, pada garis tengah desain. Hitung mundur untuk menemukan koordinat titik kelengkungan, PC, dan chainage PC.

- Hitung jarak tangen, TD dan kurangi dari CHIP:
- $CHPC = CHIP - TD$.
- Balikkan bearing ke IP,
- Gunakan TD untuk menghitung perbedaan koordinat persegi panjang, de dan dn.

Perbedaan koordinat ini, jika ditambahkan ke koordinat IP, akan menghasilkan koordinat PC.

Perhitungan Kurva Awal

Dari kurva yang Anda alokasikan, ada beberapa parameter yang harus Anda simpulkan dan hitung, sebagai berikut:

Kurva M1, perhitungan garis tengah. Berdasarkan perhitungan GARIS TENGAH, offset garis tengah = 0

Arah awal garis singgung	360°
Chainage & koordinat PC (TP1) =	Ch 63,5 E1000.000 N1000.000
Radius	R = 25
Sudut defleksi desain Δ	$\Delta = 50$
Interval chainage tembus	s = 5
Panjang busur, $S = R \cdot \Delta^{\text{radians}}$	= 21,817
TD desain = $R \tan(\Delta/2)$	= 14,222
Akord panjang = $2R \sin(\Delta/2)$	= 21,131
Jarak sekan = $R / \cos(\Delta/2)$	= 27,584
Sekan mahkota = $R / \cos(\Delta/2) - R$	= 27,584 - 25 = 2,584
Jarak mahkota = $R - R \cos(\Delta/2)$	= 25 - 22.658 = 2.342
CH PT = CH PC + S	= 63.5 + 21.817 = 85.317
CH Crown = CH PC + S/2	= 63.5 + 21.817/2 = 74.408
CH IP = CH PC + TD	= 63.5 + 14.222 = 77.722
Koordinat E IP, E IP + dE = 1000.000 + 0.000	= E1000.000.
Koordinat N IP, N IP + dN = 1000.000 + 14.222	= N1014.222.

Dengan parameter yang dihitung, saatnya membuat tabel nilai. Perhatikan bahwa chainage PC adalah 63.5; rantai tembus adalah 5m dan tabel yang dihitung harus mencerminkan spesifikasi ini:

Ingat bahwa sudut defleksi pusat (2δ) = panjang busur/jari-jari (R) dievaluasi dalam radian dan harus diubah menjadi sudut dalam derajat. Sudut defleksi tali busur (δ) adalah setengah dari sudut defleksi pusat. Tabel 8-2 menunjukkan sudut defleksi pusat dalam radian, defleksi tali busur dalam derajat.

Bearing IP adalah 360°, sehingga sudut defleksi tali busur menjadi bearing untuk setiap titik rantai. Di lapangan, mungkin perlu menambahkan sudut defleksi tali busur ke bearing yang dinominasikan sebelum menghitung koordinat titik rantai. Bearing (θ) = Brg awal + δ . Panjang tali busur $l = 2R \cdot \sin(\delta)$. $dE = l \sin(\theta)$, $dN = l \cos(\theta)$. Catatan: Koordinat rantai memancar dari koordinat PC. (Ch E = PC E + dE, Ch N = PC N + dN).

Tabel 8.2 Set-Out Untuk Kurva M1, Garis Tengah

Point	Ch	s	$2\delta^R$	δ°	$\delta^\circ(\text{DMS})$	ℓ_{chord}	dE	dN	E	N
CH _{PC}	63.50	0.00	0.000	0.000		0.00	0.0	0.0	1000.00	1000.00
CH	65.00	1.50	0.0600	1.719	1° 43' 07"	1.50	0.04	1.50	1000.04	1001.50
CH	70.00	6.50	0.2600	7.448	7° 26' 54"	6.48	0.84	6.43	1000.84	1006.43
CH	75.00	11.50	0.4600	13.178	13° 10' 40"	11.40	2.60	11.10	1002.60	1011.10
CH	80.00	16.50	0.6600	18.908	18° 54' 27"	16.20	5.25	15.33	1005.25	1015.33
CH	85.00	21.50	0.8600	24.637	24° 38' 13"	20.84	8.69	18.95	1008.69	1018.95
CH _{PT}	85.32	21.82	0.8728	25.000	25° 00' 00"	21.13	8.93	19.15	1008.93	1019.15

Lengkungan Dalam, Lengkungan Dalam dan Lengkungan Luar untuk Kurva M1

Mengacu pada Bagian 8.2 dan Tabel 8-2, berikut ini adalah tiga lengkung untuk radius, R=25m:

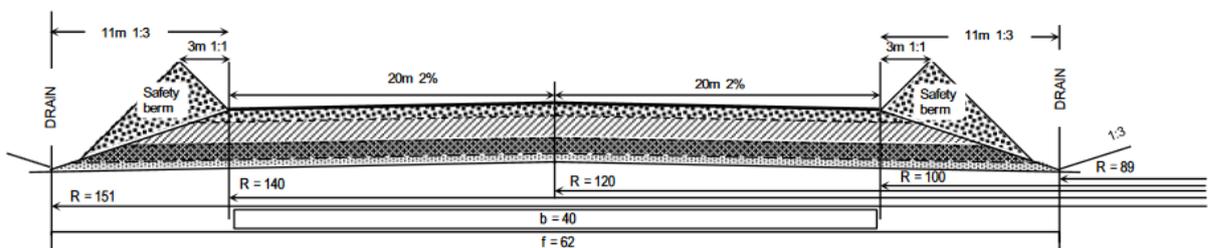
$$\begin{aligned} \text{Pada arc} &= 1.5 \quad 2\delta^\circ = 0.0600 \quad \delta^\circ = 1^\circ 43' 07'' \quad \ell_{\text{chord}} = 1.500 \\ \text{Ch interval} &= 5 \quad 2\delta^\circ = 0.2000 \quad \delta^\circ = 5^\circ 43' 47'' \quad \ell_{\text{chord}} = 4.992 \\ \text{Diluar arc} &= 0.317 \quad 2\delta^\circ = 0.0128 \quad \delta^\circ = 0^\circ 22' 00'' \quad \ell_{\text{chord}} = 0.317 \end{aligned}$$

8.5 JALAN DALAM OPERASI PENAMBANGAN

Jalan yang dirancang dengan baik dan dirawat dengan baik merupakan bagian penting dari operasi penambangan yang aman dan efisien. Mesinnya BESAR, dengan beberapa truk pengangkut sekarang menyebar hingga lebar 10 meter. Lalu lintas dua arah di sekitar tikungan memerlukan lebar perkerasan 40 meter, lebar formasi 60 meter, dan radius dalam sekitar 100 meter. Gradien harus konstan; ini dapat menambah lapisan kompleksitas tambahan pada desain kurva.

Contoh Jalan Angkut

Contoh kurva jalan angkut pertambangan (Bagian 8.5.2) menunjukkan kurva radius yang lebih besar, rantai penghubung yang lebih panjang, dan lebar formasi dan perkerasan yang lebih besar, Gambar 8.19.



Gambar 8.19 Dimensi Jalan Pengangkut Dasar

Dari kurva yang Anda alokasikan, berikut ini adalah beberapa parameter yang harus Anda simpulkan dan hitung sebagai berikut:

Kurva T5, perhitungan garis tengah.

Berdasarkan perhitungan GARIS TENGAH, offset garis tengah = 0

Arah awal garis singgung 360°

Chainage & koordinat PC (TP1)	= Ch 211.00	E994.000	N3111.000
Radius R	= 105		
Sudut defleksi desain Δ	$\Delta = 81$		
Interval chainage tembus	$s = 25$		
Panjang busur, $S = R \cdot \Delta^{\text{radian}}$	= 148.440		
TD desain = $R \tan(\Delta/2)$	= 89.678		
Akord panjang = $2R \sin(\Delta/2)$	= 136.384		
Jarak sekan = $R/\cos(\Delta/2)$	= 138.084		
Sekan mahkota = $R/\cos(\Delta/2) - R$	= 138.084 - 105		= 30.084
Jarak mahkota = $R - R \cos(\Delta/2)$	= 105 - 79,843		= 25,157
CH PT = CH PC + S	= 211 + 148,440		= 359,440
CH Crown = CH PC + S/2	= 211 + 148,44/2		= 285,220
CH IP = CH PC + TD	= 211 + 89,678		= 300,678
Koordinat E IP, E IP +De	= 994.000+ 0,000		= E994.000
Koordinat N IP, N IP +dN	= 3111.000 + 89,678		= N3200,678

Dengan parameter yang telah dihitung, saatnya membuat tabel nilai. Perhatikan bahwa panjang rantai PC adalah 211, panjang rantai tembus adalah 25m dan tabel harus mencerminkan spesifikasi ini: Ingat bahwa sudut defleksi tengah (2δ) = panjang busur/jari-jari (R) dievaluasi dalam radian dan harus diubah menjadi sudut dalam derajat. Sudut defleksi tali busur (δ) adalah setengah dari sudut defleksi tengah. Tabel 8-3 menunjukkan sudut defleksi tengah dalam radian, defleksi tali busur dalam derajat.

Tabel 8.3 Penataan Kurva T5, Garis Tengah

Point	Ch	s	$2\delta^R$	δ°	$\delta^\circ(\text{DMS})$	ℓ chord	dE	dN	E	N
CH _{PC}	211.00	0.00	0.000	0.000		0.00	0.0	0.0	994.00	3111.00
CH	225.00	14.00	0.1333	3.820	3° 49' 10"	13.99	0.93	13.96	994.93	3124.56
CH	250.00	39.00	0.3714	10.641	10° 38' 26"	38.78	7.16	38.11	1001.16	3149.11
CH	275.00	64.00	0.6095	14.462	17° 27' 41"	63.01	18.91	60.11	1012.91	3171.11
CH	300.00	89.00	0.8476	24.282	24° 16' 56"	86.36	35.51	78.92	1029.51	3189.72
CH	325.00	114.00	1.0857	31.103	31° 06' 12"	108.48	56.04	92.89	1050.04	3203.89
CH	350.00	139.00	1.3238	37.924	37° 55' 27"	129.07	79.33	101.81	1073.33	3212.81
CH _{PT}	359.44	148.44	1.4137	41.500	41° 30' 00"	136.38	88.57	103.71	1082.57	3214.71

Bearing IP adalah 360°, sehingga sudut defleksi tali busur menjadi bearing untuk setiap titik rantai. Di lapangan, mungkin perlu menambahkan sudut defleksi tali busur ke bearing yang ditentukan sebelum menghitung koordinat titik rantai. $\text{Brg}(\theta) = \text{Brg awal} + \delta$

Tabel Set-Out untuk Kurva T5

Panjang tali busur $l = 2R \cdot \sin(\delta)$. $dE = l \sin(\theta)$, $dN = l \cos(\theta)$.

Catatan: Koordinat chainage memancar dari koordinat PC. (Ch E = PC E + dE, Ch N = PC N + dN).

Lengkungan Dalam, Lengkungan Dalam dan Lengkungan Luar untuk Kurva T5

Mengacu pada Bagian 8.2.6 dan Tabel 8-3, berikut ini adalah tiga lengkung untuk radius, $R=105\text{m}$:

$$\begin{aligned} \text{Pada arc} &= 14 \quad 2\delta^{\circ R} = 0.1333 \quad \delta^{\circ} = 3^{\circ}49'10'' \quad \ell_{\text{chord}} = 13.990 \\ \text{Ch interval} &= 25 \quad 2\delta^{\circ R} = 0.2381 \quad \delta^{\circ} = 6^{\circ}49'15'' \quad \ell_{\text{chord}} = 24.941 \\ \text{Diluar arc} &= 9.44 \quad 2\delta^{\circ R} = 0.0899 \quad \delta^{\circ} = 2^{\circ}34'32'' \quad \ell_{\text{chord}} = 9.437 \end{aligned}$$

Hasil Jarak Singgung dan Busur untuk Formasi T5

Perhatikan bahwa jari-jari yang terlibat dalam empat perhitungan lainnya, dengan, misalnya, lebar formasi $f = 62$ dan lebar perkerasan $b = 40$ adalah:

Formasi kiri:	$105 + 31 = 136$	TD = 116,15	Busur, S = 192,26
Perkerasan kiri:	$105 + 20 = 125$	TD = 106,76	Busur, S = 176,11
Garis tengah:	$105 + 0 = 105$	TD = 89,68	Busur, S = 148,44
Formasi kanan:	$105 - 20 = 85$	TD = 72,60	Busur, S = 120,16
Perkerasan kanan:	$105 - 31 = 74$	TD = 63,20	Busur, S = 104,62

Ringkasan

Penting bagi siswa untuk mengetahui di titik mana alinyemen horizontal (kurva melingkar) dimulai, panjangnya, dan di mana ia berakhir. Sifat-sifat geometri melingkar dasar (tangensi, tali busur, jari-jari, dan sudut-sudut yang dibentuk) digunakan dalam tahap desain. Rantai (interval panjang jalan dari beberapa titik awal) ke IP (titik persimpangan jalan lurus), akhir kurva melingkar, dan interval rantai sepanjang kurva melingkar akan selalu ditentukan untuk alinyemen horizontal yang diberikan. Dengan parameter-parameter ini, rantai awal kurva, ditambah panjang kurva, dapat dihitung.

Ini diikuti oleh panjang busur masuk, melalui, dan keluar, ditambah sudut defleksi dan tali busur yang diperlukan untuk pengaturan aktual. Tabel tali busur dan sudut defleksi kemudian ditabulasi. Perlu ditunjukkan bahwa metode lain (misalnya, pendekatan koordinat) dapat digunakan dalam pengaturan alinyemen horizontal. Akan tetapi, koordinat ini sendiri dihasilkan dari ketukan awal, sudut defleksi, dan jarak tali busur. Bab ini telah mensintesis materi-materi ini dengan cara yang kami harap akan lebih mudah diikuti dan dipahami oleh para siswa.

BAB 9

KURVA VERTIKAL

9.1 PENDAHULUAN

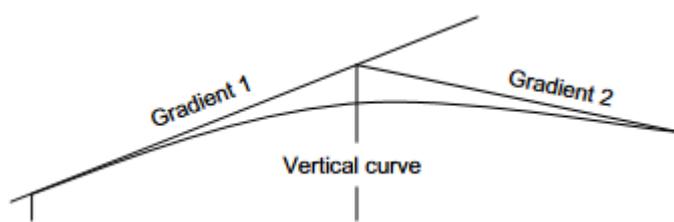
Di akhir Bab ini dan latihan 6, Anda harus:

- ✓ Memahami dan menghargai sifat geometris kurva vertikal.
- ✓ Memahami apa itu gradien dan batasan yang dikenakan pada nilainya.
- ✓ Menghargai peran kurva vertikal dalam meningkatkan keselamatan dan kenyamanan penumpang yang bepergian dari satu gradien berpotongan ke gradien lainnya.
- ✓ Mampu merancang kurva vertikal.

Latihan 6 melibatkan penghitungan volume yang ditempati oleh serangkaian kurva vertikal melalui medan yang dimodelkan.

Definisi

Kurva vertikal, Gambar 9.1, adalah kurva yang menghubungkan dua tingkat (atau gradien) yang berbeda dalam profil vertikal. Tujuan kurva adalah untuk memperlancar lintasan dari satu gradien ke gradien lainnya.



Gambar 9.1 Kurva Vertikal

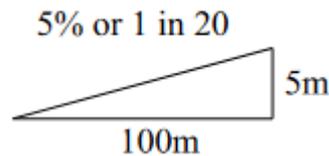
Kegunaan

- ✓ Diperkenalkan di antara dua gradien yang berpotongan untuk memperlancar lintasan dari satu gradien ke gradien lainnya di bidang vertikal.
- ✓ Kendaraan yang melaju di sepanjang tikungan vertikal mengalami gaya radial yang mencoba mendorong kendaraan dari pusat kelengkungan tikungan vertikal. Hal ini memaksa kendaraan untuk meninggalkan jalan jika terjadi desain puncak, sementara kendaraan dapat bersentuhan dengan permukaan jalan jika terjadi desain menurun. Keduanya mengakibatkan ketidaknyamanan dan bahaya bagi penumpang dan diminimalkan melalui pembatasan gradien dan pemilihan jenis dan panjang tikungan yang sesuai.
- ✓ Visibilitas yang memadai: Lengkung vertikal memungkinkan kendaraan yang melaju pada kecepatan desain tertentu untuk berhenti atau menyalip dengan aman.
- ✓ Pertimbangannya meliputi keselamatan, kenyamanan berkendara, dan jarak pandang.

Komponen Lengkung Vertikal

Gradien atau tingkat kemiringan dinyatakan sebagai persentase. Kemiringan dinyatakan sebagai rasio vertikal terhadap horizontal, umumnya 1: n.

- ✓ Gradien lereng 1 vertikal dalam 20 horizontal (1:20) = $1/20 = 0,05 = 5\%$, yaitu, Gradien = 5m vertikal untuk setiap 100m horizontal (lihat Gambar 9.2).



Gambar 9.2 Gradien

- ✓ Sudut lereng = arctangent (lereng). $1:20 = 0,05 = \text{atan}(0,05) = 2,862^\circ = 2^\circ 52'$.
- ✓ Gradien yang naik ke arah rantai lintasan adalah gradien positif $+g_1\%$ sedangkan gradien yang turun ke arah rantai lintasan adalah gradien negatif $-g_2\%$. Lihat Gambar 9.3.

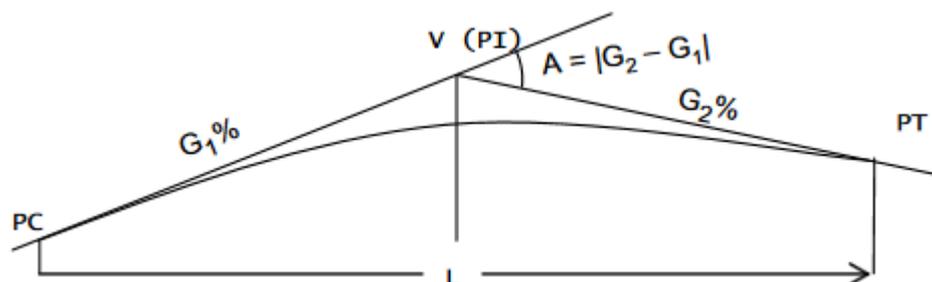


Gambar 9.3 Gradien positif/negatif

Dalam desain jalan, kurva vertikal umumnya berupa kurva parabola dalam profil memanjang jalur lalu lintas untuk memberikan perubahan tingkat kemiringan pada percepatan vertikal tertentu. Dalam mengembangkan contoh kurva vertikal, kriteria desain yang digunakan adalah yang dipublikasikan dalam Austroads, 2003.

9.2 ELEMEN KURVA VERTIKAL

Dua gradien berpotongan di titik V, Titik Perpotongan (PI). Gradien tersebut bersinggungan dengan penampang parabola yang membentang dari Titik Kelengkungan (PC) awal ke Titik Tangensi (PT) akhir.



Gambar 9.4 Elemen Kurva Vertikal

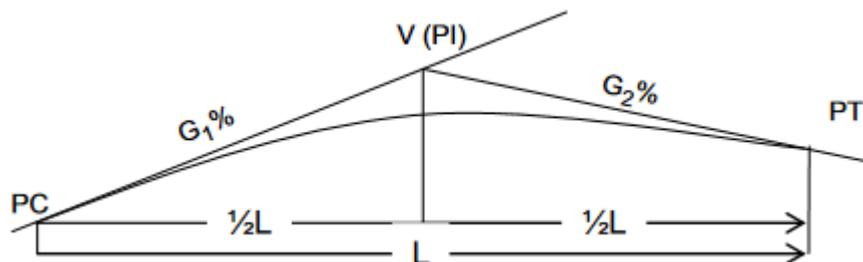
Notasi: (Gambar 9.4)

- ✓ G_1 : Gradien awal, dinyatakan sebagai persentase
- ✓ G_2 : gradien berikutnya, dinyatakan sebagai persentase V atau PI Titik Puncak atau Titik Perpotongan

- ✓ PC: Titik Kelengkungan, awal kurva PT Titik Tangensi, akhir kurva
- ✓ L: Panjang kurva. Diukur secara horizontal dalam satuan 100m.
- ✓ A: Kurva vertikal dengan jarak horizontal 350m memiliki L=3,5. Panjang busur parabola dapat ditemukan dengan menjumlahkan panjang tali busur antara stasiun pegging.
- ✓ Perbedaan Gradien.

Dua sifat parabola:

Gambar 9.5 menunjukkan sifat pertama dari dua sifat parabola. Proyeksi horizontal garis singgung di PC dan PT adalah sama. Proyeksi tersebut sama dengan setengah proyeksi horizontal kurva, yaitu $\frac{1}{2}L$.



Gambar 9.5 Persamaan Panjang Pada Titik Puncak

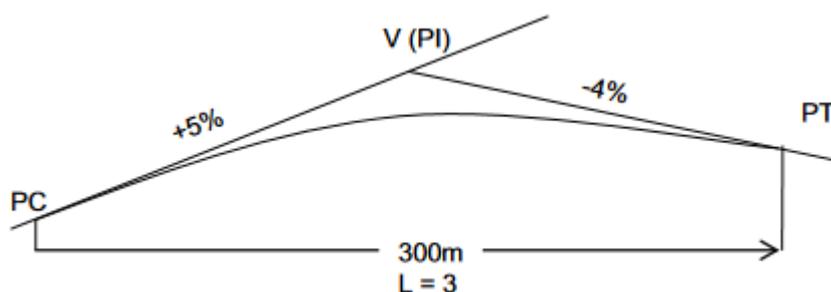
Sifat kedua adalah bahwa laju perubahan tingkat kemiringan kurva adalah konstan. Dengan demikian, gradien di titik mana pun sepanjang parabola dapat dinyatakan menggunakan panjang horizontal kurva.

$$r\% = \frac{G_2 + G_1}{L}, \text{ dimana } r\% \text{ dapat dibaca sebagai } r \text{ "persen per 100"} \quad (9.1)$$

Gambar 9.6 menunjukkan kurva antara dua tingkat, $G_1 = +5\%$, $G_2 = -4\%$, yang menghubungkan kurva parabola dengan panjang = 300m. $L = 3$. Carilah r .

Dari Persamaan 9.1:

$$r\% = \frac{(-4) + (+5)}{3} = -3\%.$$



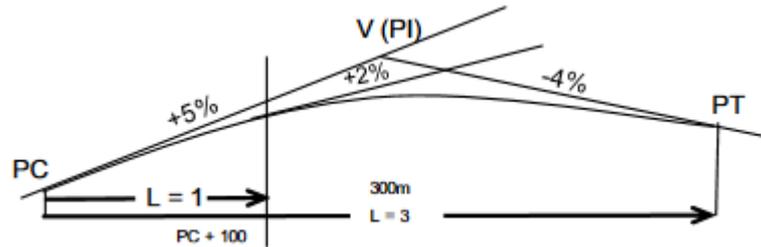
Gambar 9.6 Perubahan Gradien

Untuk menemukan gradien kurva pada PC + 100 di mana: (Gambar 9.7)
 gradien akhir = Gradien awal + perubahan gradien.

$$A_t \text{ PC} + 100 : L = 1, r = -3$$

$$G_{100} = 5 + (-3 \cdot 1)$$

$$= 2\%$$

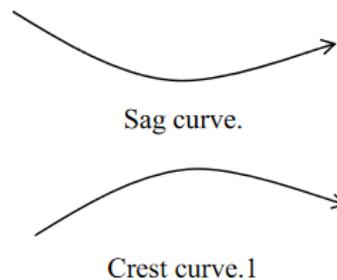


Gambar 9.7 Gradien Bervariasi Dengan L

Tanda r.

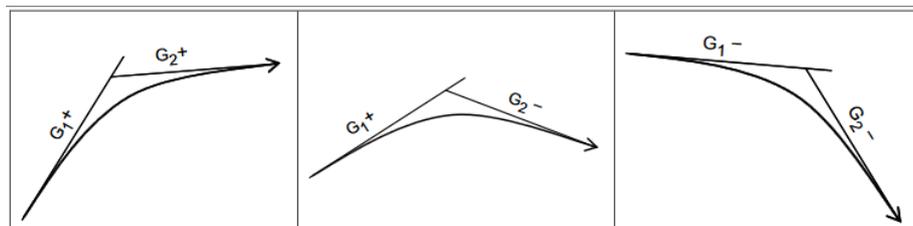
- Jika $r > 0$ (positif) = kurva kendur
- Jika $r < 0$ (negatif) = kurva puncak

Jika tanda G_1 dan G_2 berlawanan maka akan ada titik tinggi atau rendah. (Gambar 9.8)



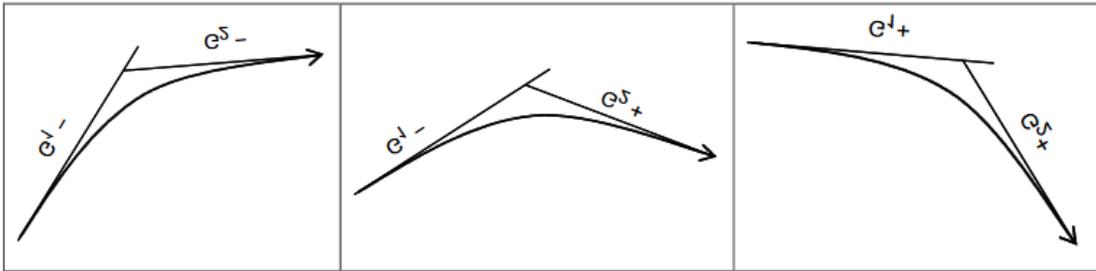
Gambar 9.8 Kurva Melorot Dan Melengkung

Jika G_1 dan G_2 secara numerik sama, tetapi tandanya berlawanan, maka titik tinggi atau rendah akan berada di titik tengah. Jika tidak, maka harus dihitung. Kurva puncak, Gambar 9.9, terjadi ketika gradien berikutnya lebih kecil dari gradien awal.



Gambar 9.9 Konfigurasi Kurva Puncak

Kurva kendur, Gambar 9.10, terjadi ketika gradien berikutnya lebih besar daripada gradien awal.



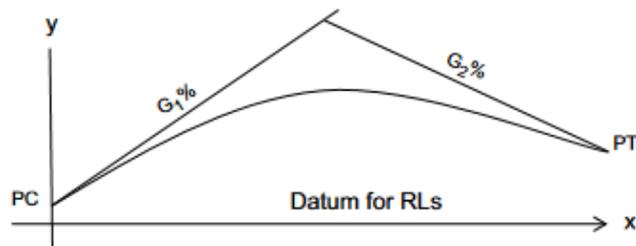
Gambar 9.10 Konfigurasi Kurva Kendor.

9.3 KALKULUS PARABOLA

Parabola adalah kurva kerucut dari persamaan derajat dua. Jika tidak ada suku xy dalam ekspresi tersebut, maka sumbu utamanya adalah horizontal, $y = \pm kx^2$ atau vertikal, $x = \pm kx^2$. Bentuk, atau laju perubahan gradien, diberikan oleh konstanta, k . Bentuk umum parabola, dengan sumbu utamanya sejajar dengan sumbu vertikal adalah

$$y = ax^2 + bx + c \tag{9.2}$$

Persamaan ini akan dikembangkan untuk memungkinkan perhitungan koordinat vertikal, RLs, dari titik-titik pada kurva. Lihat Gambar 9.11, y akan menjadi RL dari setiap titik pada kurva pada jarak horizontal, x , dari PC.



Gambar 9.11 Sumbu Parabola Dan Gradien Tangen

Mengembangkan Persamaan Umum

Ubah persamaan umum: $y = ax^2 + bx + c$ menjadi ekspresi yang dicakup oleh elemen-elemen kurva vertikal.

1. Temukan nilai y pada $x = 0$
 $y = c = \text{RL dari PC}$ (9.3)
2. Turunan pertama Persamaan 9.2 memberikan gradien:

$$\frac{dy}{dx} = 2ax + b \text{ kemudian}$$

ketika $x = 0, \frac{dy}{dx} = b$ i. e.:

$b = \text{gradien dari kurva ketika } x = 0$

$b = G_1$

3. Turunan kedua Persamaan 9.2 dari suatu kurva memberikan laju perubahan tingkat:

$$\frac{d^2 y}{d^2 x} = 2a \text{ Kita telah mendefinisikan } r \text{ sebagai laju perubahan gradien. Jadi:}$$

$$r = 2a \text{ atau } a = \frac{1}{2}r \quad (9.4)$$

4. Substitusikan konstanta turunan ke Persamaan 9.2 sehingga menghasilkan ekspresi:

$$y = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RL_{PC} \quad (9.5)$$

Mendapatkan Data dari Persamaan Umum

Persamaan parabola umum, 9.2, untuk kurva vertikal dinyatakan dalam istilah yang terkait dengan desain kurva (yaitu, Persamaan 9.5)

- $y = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RL_{PC}$, dimana ;
- r = laju perubahan gradien (sebagai persen per 100)
- G_1 = gradien awal kemiringan (sebagai persentase)
- RL_{PC} = RL Titik Lengkung, di awal kurva vertikal.

Titik Tinggi atau Rendah Kurva Vertikal

Titik tinggi/rendah kurva adalah titik di mana gradien kurva adalah nol.

Temukan nilai x di mana kemiringan = 0

Ambil turunan pertama, menggunakan Persamaan 9.5, $\frac{dy}{dx} = rx + G_1$

Gradien adalah nol ketika $\frac{dy}{dx} = 0$, *i. e.*,

$$rx + G_1 = 0$$

di mana x = jarak dari PC dalam satuan 100.

$$\text{titik tinggi/rendah rantai} = \text{rantai PC} + 100 \cdot \frac{-G_1}{r} \quad (9.6a)$$

Catatan: Jika titik tinggi/rendah berada pada parabola antara PC dan PT maka

$\frac{-G_1}{r}$ akan bernilai positif karena G_1 dan r memiliki tanda yang berlawanan.

Mengambil kurva vertikal pada Gambar 9.6 sebagai contoh, ingatlah bahwa G_1 bernilai negatif:

$$R = -3$$

$$G_1 = 5$$

$$x = \frac{-5}{-3} = 1.67, \text{ Rantai titik tertingginya adalah seperti ini:}$$

Rantai titik tertingginya adalah seperti ini:

$$CH_{PC} + 100x = CH_{PC} + 167.$$

Tingkat Titik Tinggi atau Rendah Kurva Vertikal

Tinggi (Δh) titik tinggi/rendah kurva adalah hasil kali jarak di mana gradien kurva adalah nol, x dan gradien garis AP. Garis AP sejajar dengan garis singgung melalui titik tengah

parabola AP. Gradien kurva pada titik tengah akan menjadi rata-rata gradien di titik akhir, A dan, dalam kasus ini, P, di mana gradien adalah nol.

Periksa gradien:

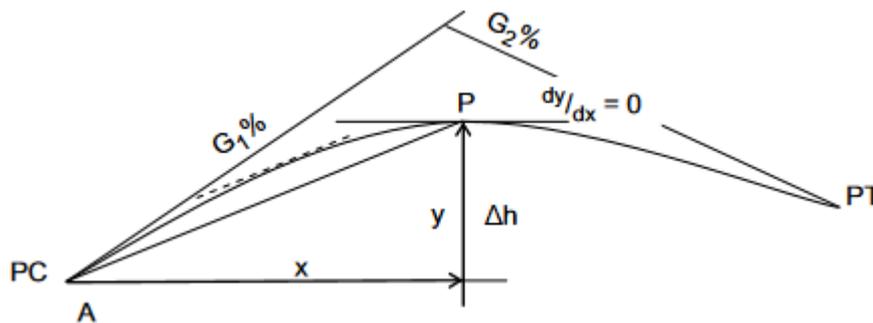
- Gradien di A = G_1
- Gradien di P = 0
- Gradien AP = $\frac{1}{2}(G_1 + 0) = \frac{1}{2}G_1$

$$\Delta h = \frac{1}{2} G_1 x \tag{9.7}$$

$$RL_P = RL_{PC} + \frac{1}{2} G_1 x \tag{9.7a}$$

RL titik terendah akan menggunakan rumus yang sama karena G_1 negatif. Dapat juga dilihat bahwa, dengan mensubstitusikan x dari Persamaan 9.6:

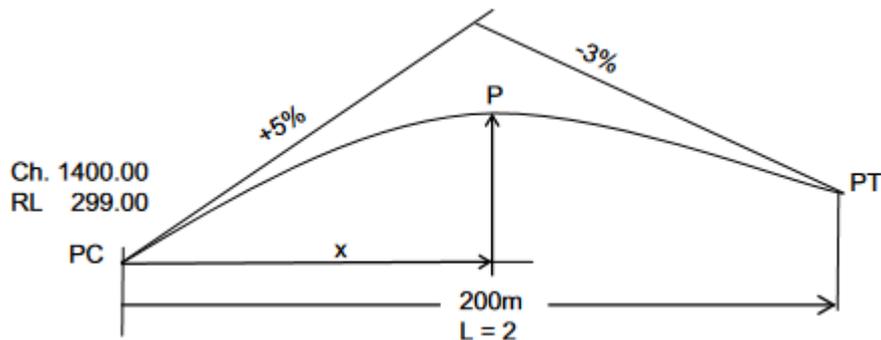
$$\Delta h = \frac{\frac{1}{2} G_1^2}{r} \tag{9.8}$$



Gambar 9.12 Titik tinggi/rendah Gradien nol

Contoh Kerja 9.1

Dua gradien profil yang berpotongan terdiri dari gradien +5% yang bertemu dengan gradien -3%.Keduanya akan dihubungkan oleh kurva vertikal parabola sepanjang 200m. $L = 2$. Jarak rantai PC = 1400m, RL PC = 299m.



Gambar 9.13 Contoh pengerjaan 9.1 dan 9.2

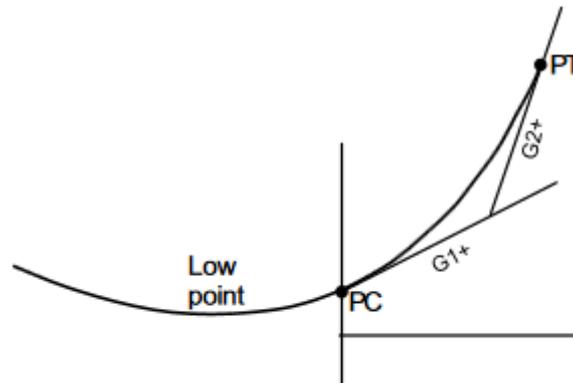
Hitung jarak rantai dan RL titik tertinggi.

1. Hitung $r\%$ menggunakan Persamaan 9.1: $r = \frac{G_2 - G_1}{L} = \frac{-3 - (+5)}{2} = -4$

2. Rantai ke titik tertinggi, P: (Persamaan 9.6): $x = \frac{-G_1}{r} = \frac{-5}{-4} = 1.25, = 125m.$

$$\text{Rantai } P = CH_{PC} + x = 1400 + 125 = \mathbf{1525m.}$$

3. Δh titik tertinggi, P: (Persamaan 9.7): $\Delta h = \frac{1}{2}G_1x = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 1,25 = 3,125m.$
 RL titik tertinggi, P = $R_{LP} + \Delta h = 299 + 3,125 = \mathbf{302,125m.}$



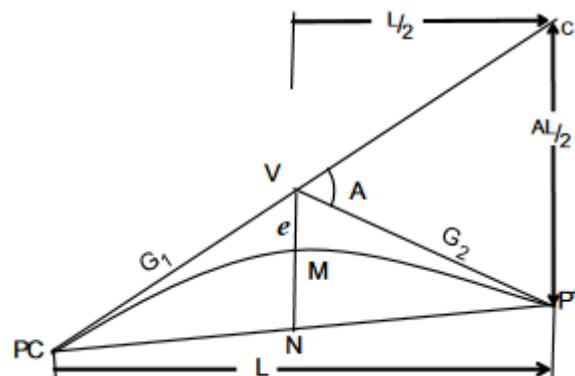
Gambar 9.14 Titik Terendah Di Luar Kurva

Perhatikan titik tinggi/rendah parabola ($\frac{dy}{dx} = 0$) mungkin tidak terjadi pada bagian parabola yang diselidiki.

Titik Tengah Kurva Vertikal

Jarak "eksternal", e , adalah jarak vertikal dari titik puncak, atau titik perpotongan, kedua gradien ke titik tengah kurva.

- Pada Gambar 9.15, gradien G_1 telah dibuat ke titik C secara vertikal di atas PT.
- Jarak horizontal PC ke PT = L (satuan 100).
- Sudut A adalah perubahan tingkat kemiringan secara aljabar.
- $A = |G_2 - G_1|$
- N adalah titik tengah tali busur PC ke PT, dan secara vertikal di bawah V.
- Perhatikan bahwa, jika $|G_1| = |G_2|$ maka M adalah titik tertinggi, P



Gambar 9.15 Titik Tengah Kurva Vertikal

1. Δh dari PT terhadap PC = $\Delta h(\text{PC ke } V) - \Delta h(\text{V ke } PT)$ ingat bahwa G_2 negatif

$$\Delta h_{PC-PT} = \frac{1}{2}(G_1L) + \frac{1}{2}(G_2L) = (G_1 + G_2)L$$

2. Maka dapat disimpulkan bahwa Δh antara C dan PT
- $$= \Delta h(\text{PC to C}) - \Delta h(\text{PC to PT})$$
- $$= G_1L - \frac{1}{2}(G_1 + G_2)L = \frac{1}{2}(G_1 - G_2)L, \text{ but } G_1 - G_2 = |G_2 - G_1| = A$$
- $$= \frac{1}{2}AL \text{ or } \frac{AL}{2}.$$
3. Demikian pula: $VN = \Delta h(\text{PC ke V}) - \Delta h(\text{PC ke N})$
- $$= \frac{1}{2}G_1L - \frac{1}{2}(\frac{1}{2}(G_1 + G_2)L)$$
- $$= \frac{1}{4}(G_1 - G_2)L$$
- $$= \frac{1}{4}AL \text{ or } \frac{AL}{4}.$$

Salah satu sifat parabola adalah:

Offset dari garis singgung bervariasi dengan kuadrat jarak dari PC.

Secara umum: $e = (n/m)^2 \cdot \frac{AL}{2}$ dan $\frac{AL}{2}$ adalah konstanta untuk kurva.

Offset ke V dari garis singgung di M (ini adalah e), yang merupakan $\frac{1}{2}L$ dari PC

$$h_{VM} = e = (\frac{1}{2})^2 L \cdot \frac{A}{2} = \frac{1}{4}L \cdot \frac{A}{2} = \frac{AL}{8}$$

Hal ini menunjukkan bahwa $e = \frac{1}{2}$ selisih antara RLV dan RLN .

Dengan menggunakan metode offset kuadrat, sejumlah nilai "e" lainnya dapat ditemukan sehingga, jika L adalah panjang kurva:

$$\text{Untuk } \frac{1}{4}L: \quad e = \frac{1}{16} \cdot \frac{AL}{2}$$

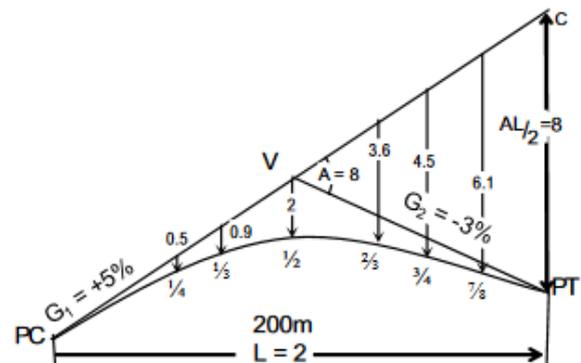
$$\text{Untuk } \frac{3}{4}L: \quad e = \frac{9}{16} \cdot \frac{AL}{2}$$

Contoh Kerja 9.2

Dua gradien profil yang berpotongan terdiri dari gradien +5% yang bertemu dengan gradien -3%. Keduanya akan dihubungkan oleh kurva vertikal parabola sepanjang 200m. (Gambar 9.16). Temukan offset, e, dari gradien awal G_1 di titik tengah dan juga titik $\frac{1}{4}$ dan $\frac{3}{4}$ dari panjang kurva.

Dari contoh kerja 9.1:

$$\begin{aligned}
 L &= 2 \\
 G_1 &= +5 \\
 G_2 &= -3 \\
 A &= |G_2 - G_1| = 8 \\
 \frac{AL}{2} &= 8 \\
 e_{\text{midpoint}} &= \frac{1}{4} \cdot \frac{AL}{2} = \frac{AL}{8} = \frac{2 \cdot 8}{8} = 2 \\
 e_{\frac{1}{4}} &= \frac{1}{16} \cdot \frac{AL}{2} = \frac{1}{16} \cdot 8 = 0.5 \\
 e_{\frac{3}{4}} &= \frac{9}{16} \cdot \frac{AL}{2} = \frac{9}{16} \cdot 8 = 4.5
 \end{aligned}$$



Gambar 9.16 Contoh Kerja 2

Demikian pula, offset dari gradien awal dapat ditemukan di setiap bagian panjang parabola setelah $\frac{AL}{2}$ telah dievaluasi.

$$\begin{aligned}
 \text{e.g. } e_{\frac{1}{3}} &= \frac{1}{9} \cdot 8 = 0.89 \\
 e_{\frac{2}{3}} &= \frac{4}{9} \cdot 8 = 3.56.
 \end{aligned}$$

Teknik ini memiliki aplikasi yang terbatas dibandingkan dengan metode perhitungan modern, namun nilai titik tengah $e = \frac{AL}{8}$ adalah pemeriksaan perhitungan yang praktis.

Melewati Kurva Melalui Titik Tetap

Sering kali diperlukan kurva yang melewati titik tetap saat dua gradien disambungkan. Contoh praktisnya adalah persyaratan untuk menyediakan sejumlah "kelonggaran" di bawah jalan layang atau jembatan. Tugasnya mungkin mencari panjang parabola yang menghubungkan dua tingkat kemiringan yang ditentukan. Atau mungkin perlu mencari gradien gradien berikutnya jika panjang parabola tetap. Variabel yang mengatur dalam kasus ini adalah nilai r , laju perubahan gradien ($r\%$), yang digunakan dalam rumus parabola:

$$y = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RL_{pc}, \text{ (persamaan 9.5) dimana } r = \frac{G_2 - G_1}{L} \text{ dan } x \text{ adalah } 100$$

Contoh Kerja 9.3

Sebuah jalan akan didesain ulang menggunakan kurva vertikal parabola untuk menyediakan jarak bebas di bawah jembatan (lihat Gambar 9.17).

- PC memiliki jarak bebas 1140,00 m, dengan RL 125,604 m.
- Gradien awal, $G_1 = -4\%$.
- Sebuah jembatan pada jarak bebas 1300,00 memiliki RL = 128,5 m pada titik terendahnya.

- Anda harus menyediakan jarak bebas 4,5 m dari bagian bawah jembatan, dan parabola akan berakhir dengan gradien berikutnya, $G_2 = +3,6\%$.

Berapa panjang kurva tersebut?

Rumus kurva vertikal: (Persamaan 9.5), $y = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RL_{PC}$,

Data: $x = (1300 - 1140)/100 = 1.6$ (units of 100 to allow for grade %)

$y = 128.5 - 4.5 = 124.0$ (RL of clearance)

$RL_{PC} = 125.536$

$G_1 = -4\%$

$G_2 = +3.6\%$

Menggunakan rumus kurva vertikal di atas, cari r%%: untuk memungkinkan perhitungan L

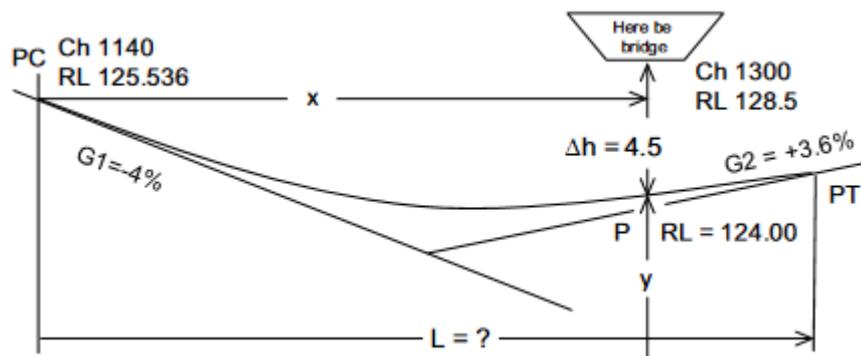
$$124.0 = \frac{1}{2}r \cdot (1.6)^2 + (-4 \cdot 1.6) + 125.536$$

$$r = \frac{2(124 + 6.4 - 125.536)}{1.6^2} = 3.8$$

$$\text{But: } r = \frac{G_2 - G_1}{L}$$

$$\text{thus } L = \frac{G_2 - G_1}{r} = \frac{3.6 - (-4)}{3.8} = 2.0 \text{ units of } 100.$$

$$\text{Length of curve} = L \times 100 = \mathbf{200m}$$



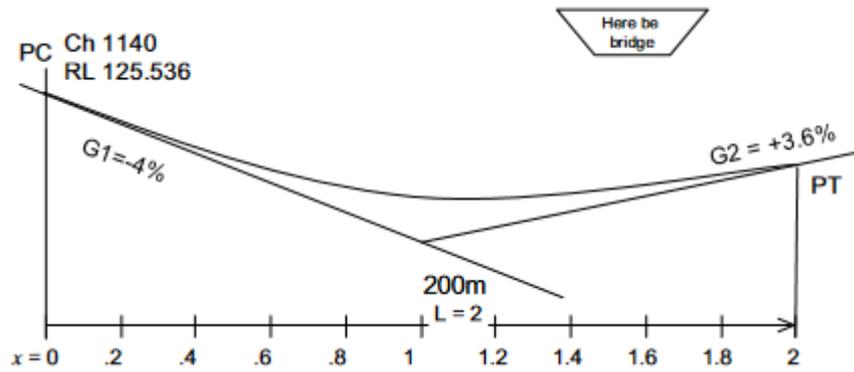
Gambar 9.17 Contoh Kerja 9.3

9.4 HITUNG RL TITIK SEPANJANG KURVA VERTIKAL

Setelah kurva vertikal dirancang, perlu dibuat daftar RL yang ditabulasikan di stasiun antara. Seperti halnya kurva horizontal, kemungkinan besar RL tersebut akan berada pada rantai bilangan bulat reguler. Ingat bahwa untuk kurva vertikal, kita mengukur rantai secara horizontal dari PC. Interval pegging konstan memungkinkan pemeriksaan perhitungan dilakukan menggunakan perbedaan kedua antara RL. Perbedaan pertama (Δ') adalah perbedaan antara RL yang berurutan. Perbedaan kedua (Δ'') adalah perbedaan antara perbedaan pertama yang berurutan, yaitu Δ' . Karena parabola adalah persamaan derajat kedua, Δ'' harus konstan untuk interval yang konstan. Perbedaan pertama dan kedua dapat ditabulasikan dalam data pegging. Panjang tali busur dapat ditabulasikan untuk menemukan perkiraan panjang busur.

Contoh yang Dikerjakan. Kurva Vertikal Tunggal

Gambar 9.17 menunjukkan desain kurva vertikal yang akan dipatok pada interval 20m dari PC ke PT sepanjang 200m. Dengan menggunakan kurva vertikal pada contoh 9.3, dan Gambar 9.18 untuk visualisasi: Tabulasikan RL, tunjukkan kesamaan perbedaan kedua.



Gambar 9.18 Contoh Pengerjaan 9.4, Kurva Tunggal

Temukan chainage dan RL untuk titik terendah. Gunakan tali busur untuk menemukan panjang busur.

- ChPC = 1140.00m
- RL PC = 125.536m.
- Ch PT = 1340.00m.

$G_1 = -4\%$

$G_2 = +3.6\%$

$L = 2.0,$

$r = (G_2 - G_1)/L$
 $= (3.6 - (-4))/2$

$r = +3.8$ (kurva melengkung)

Buatlah rumus untuk kurva dalam x dari:

$X = 0, 0.2, 0.4, \dots, 1.8, 2:$

$RL_{Ch} = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RL_{PC} = 1.9x^2 - 4x + 125.536$

Tabel 9.1 menunjukkan hasil perhitungan RL pada setiap chainage serta perbedaan RL pertama dan kedua antara chainage. Panjang busur adalah penjumlahan dari tali busur antara setiap pasangan chainage.

Tabel 9.1 Contoh pengerjaan 9.4. Tabel rangkaian, RL, perbedaan pertama dan kedua, akord. Pemeriksaan.

Titik pengukuran	x	RL	Δ'	Δ''	Diameter
1140	0.0	125.536			
			-0.724		20.013
1160	0.2	124.812		0.152	
			-0.572		20.008
1180	0.4	124.240		0.152	
			-0.420		20.004
1200	0.6	123.820		0.152	

			-0.268		20.002
1220	0.8	123.552		0.152	
			-0.116		20.000
1240	1.0	123.436		0.152	
			0.036		20.000
1260	1.2	123.472		0.152	
			0.188		20.001
1280	1.4	123.660		0.152	
			0.340		20.003
1300	1.6	124.000		0.152	
			0.492		20.006
1320	1.8	124.492		0.1522	
			0.644		20.010
1340	2.0	125.136			
Panjang keliling =					200.047

Perbedaan pertama,

$$\Delta' = RL_{n+1} - RL_n$$

Perbedaan kedua,

$$\Delta'' = r(dx)^2$$

di mana:

$$\begin{aligned} dx &= \text{interval pasak}/100 \\ &= 20/100 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

yaitu,

$$\begin{aligned} \Delta'' &= r(dx)^2 \\ &= 3,8 \cdot (0,2)^2 \\ &= 0,152 \end{aligned}$$

$$\text{Periksa } \Delta'' = \Delta'_{n+1} - \Delta'_n$$

misalnya,

$$\begin{aligned} \Delta'_{1160} - \Delta'_{1140} &= -0,572 - (-0,724) \\ &= 0,152 \end{aligned}$$

Akord setiap interval (dx) dihitung menggunakan selisih pertama Δ' .

$$\begin{aligned} \text{Chord}_{(n, n+1)} &= \sqrt{(100dx)^2 + (\Delta')^2_{(n, n+1)}} \end{aligned}$$

e.g.,

$$\begin{aligned} \text{Chord}_{(1140, 1160)} &= \sqrt{(100 \cdot 0,2)^2 + (-0,724)^2} \\ &= 20.013. \end{aligned}$$

Panjang busur = Σ (Tali busur)

Temukan titik terendah:

Jarak ke titik terendah (Persamaan 9.6): $x = \frac{-G_1}{r} = \frac{-(-4)}{38} = 1.053$ (jarak = $100 \cdot x = 105,3$)

Titik terendah chainage = $1140 + 105,3 = 1245,30$, pemeriksaan dengan inspeksi terhadap lembar pasak.

RL titik terendah pada jarak x (Persamaan 9.7a):

$$RL = \frac{1}{2}G_1x + RLPC = -2 \cdot 1,053 + 125,536 = -2,105 + 125,536$$

RL titik terendah = 123,431, pemeriksaan terhadap lembar pasak antara Ch1240 & 1260.

Contoh yang Dikerjakan. Beberapa Lengkung Vertikal

Gambar 9.19 menunjukkan desain dua lengkung vertikal, yang disambung dengan bagian lurus, yang akan dipatok pada interval 15 m sepanjang 105 m. RL di CH 00 adalah desain Lengkung Vertikal 10.000:

1. Jalan setapak menanjak pada kemiringan +2% antara CH 00 dan CH 15.
2. Jalan setapak menanjak, melalui lengkung menurun, hingga kemiringan +5% sepanjang 15 m.
3. Jalan setapak berlanjut pada kemiringan lurus (5%) hingga CH75.
4. Jalan setapak mendatar, melalui lengkung puncak, hingga kemiringan 0%, antara CH 75 dan CH105.

Perhitungan dibagi menjadi empat bagian terpisah, tugas utamanya adalah menghitung RL pada setiap perubahan tingkat kemiringan. Rumus untuk menghitung RL pada beberapa kurva menggantikan istilah untuk level pada "titik kelengkungan", RLPC, dengan ekspresi, "awal kurva vertikal", RLBVC. RL pada akhir satu kurva vertikal adalah RL pada awal kurva vertikal berikutnya.

Hanya satu rumus yang digunakan: $RLCH = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RLBVC$.

Menurut definisi, laju perubahan pada alereng lurus adalah, $r = 0$, karena $G_1 = G_2$.

1. Gradien lurus: Ch00 ke CH15, $L = 15m = 0,15$ CH 00, RLBVC = 10.000, $G_1 = +2\%$, $G_2 = +2\%$ CH 15, $x = 0,15$ (15m) $r = (G_2 - G_1)/L = (2 - 2)/0,15 = 0$
 $RLCH15 = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RLCH00 = 0 + 2 \cdot 0,15 + 10 = 10,300$. Ini adalah RLBVC untuk kurva 2.
2. Kurva sag, CH15 ke CH30, $L = 15m = 0,15$ CH 15, RLBVC = 10,300, $G_1 = +2\%$, $G_2 = +5\%$ CH 30, $x = 0,15$ (CH30 - CH15 = 15m) $RLCH30 = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RLCH15$
 $= \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 0,15^2 + 2 \cdot 0,15 + 10,300 = 0,225 + 0,3 + 10,3 = 10,825$. Ini adalah RLBVC untuk kurva 3.
3. Gradien lurus, CH30 ke CH75, $L = 45m = 0,45$ CH 30, RLBVC = 10,825, $G_1 = +5\%$, $G_2 = +5\%$,
 $r = (G_2 - G_1)/L = (5 - 5)/0,45 = 0$
 $CH 45, x = 0,15$ (CH45 - CH30 = 15m)
 $RLCH45 = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RLCH30 = 0 + 5 \cdot 0,15 + 10,825 = 0,75 + 10,825 = 11,575$ CH 60, $x = 0,3$ (CH60 - CH30 = 30m)

$$RLCH60 = \frac{1}{2}rx^2 + G1x + RLCH30 = 0 + 5 \cdot 0,30 + 10,825 = 1,50 + 10,825 = 12,325 \text{ CH } 75, x = 0,45 \text{ (CH75 - CH30 = 45m)}$$

$$RLCH75 = \frac{1}{2}rx^2 + G1x + RLCH30 = 0 + 5 \cdot 0,45 + 10,825 = 2,25 + 10,825 = 13,075$$

RLCH75 adalah RLBVC untuk kurva 4.

4. Kurva puncak, CH75 hingga CH105, L = 30m = 0,30 CH 75, R

$$LBVC = 13,075, G1 = +5\%, G2 = +0\%, r = (G2 - G1)/L = (0 - +5)/0,3 = -16,67$$

$$\text{CH } 90, x = 0,15 \text{ (CH90 - CH75 = 15m)}$$

$$RLCH90 = \frac{1}{2}rx^2 + G1x + RLCH75$$

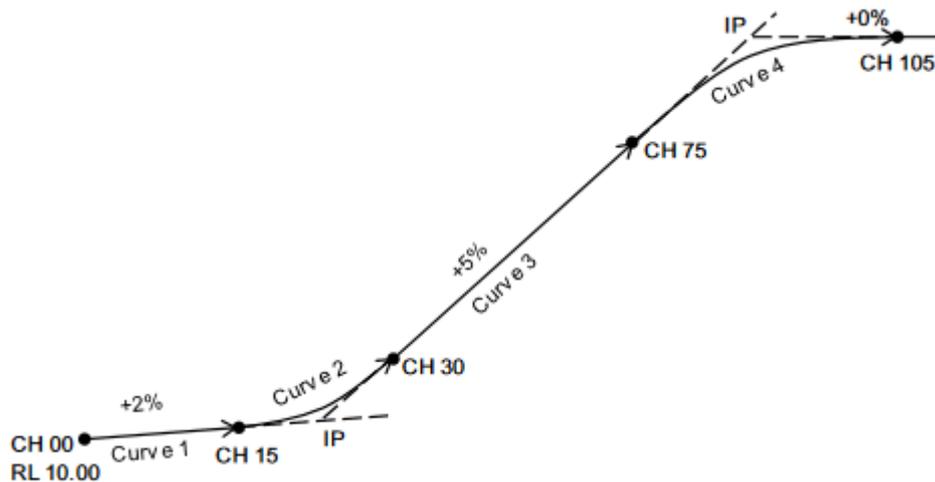
$$= \frac{1}{2} \cdot -16,67 \cdot 0,15^2 + 5 \cdot 0,15 + 13,075 = -0,188 + 0,75 + 13,075 = 13,638$$

$$\text{CH } 105, x = 0,30 \text{ (CH105 - CH75 = 30m)}$$

$$RLCH105 = \frac{1}{2}rx^2 + G1x + RLCH75$$

$$= \frac{1}{2} \cdot -16,67 \cdot 0,30^2 + 5 \cdot 0,30 + 13,075 = -0,750 + 1,50 + 13,075 = 13,825.$$

Tabel 9.2 menunjukkan hasil penyelesaian soal di atas (Bagian 9.4.29.4.2), termasuk selisih pertama dan kedua, serta panjang tali busur.



Gambar 9.19 Menggabungkan Beberapa Kurva Vertikal

Tabel 9.2 Profil kurva vertikal dengan beberapa kemiringan

Rantai	X	RL	Δ'	Δ''	Akord
00	0.0	10.000			
			+0.300		15.003
15	0.15	10.300		0.225	
			+0.525		15.009
30	0.15	10.825		0.255	
			+0.750		15.019
45	0.15	11.575		0.000	
			+0.750		15.019
60	0.3	12.325		0.000	
			+0.750		15.019

75	0.45	13.075		-0.187	
			+0.563		15.010
90	0.15	13.638		-0.376	
			+0.187		15.001
105	0.3	13.825			
Panjang Busur					105.080

Perhatikan dua set rumus. Satu untuk kurva:

- $y = \frac{1}{2}rx^2 + G_1x + RL_{PC}$ dan satu untuk garis lurus:
- $y = G_1x + RL_{PC}$
- Rumus kurva dapat digunakan untuk garis lurus karena, seperti $G_2 = G_1$.
- dan $r = (G_2 - G_1)/L$,
- maka $r = 0$ dan
- dengan demikian $\frac{1}{2}rx^2 = 0$.
- Ini mungkin membantu dalam menggeneralisasi aplikasi spreadsheet.

Lengkung Vertikal dalam Desain Jalan Pedesaan

Bagi surveyor, penggunaan umum lengkung vertikal adalah dalam desain dan konstruksi jalan pedesaan. Austroads, 2003, Bab 10, memiliki pembahasan komprehensif tentang alinyemen vertikal yang menjadi rujukan Anda. Profil vertikal jalan adalah serangkaian tingkatan yang dihubungkan oleh lengkung parabola. Tingkatan harus sedatar mungkin dengan mempertimbangkan:

- Medan
- Longitudinal
- Drainase ekonomi.

Tingkatan yang lebih curam menghasilkan variasi yang lebih besar dalam kecepatan kendaraan antara kendaraan dengan rasio daya terhadap berat yang bervariasi. Variasi ini menyebabkan kecepatan relatif yang lebih tinggi antara kendaraan, meningkatkan risiko tingkat kecelakaan dari belakang. Variasi ini juga menyebabkan antrean lalu lintas dan persyaratan menyalip, yang meningkatkan masalah keselamatan lalu lintas, terutama pada kepadatan lalu lintas yang lebih tinggi. Ada biaya angkutan tambahan karena peningkatan kebutuhan daya dan kecepatan yang lebih rendah.

Efek Tingkatan pada Jenis Kendaraan

Tabel 9.3 Pengaruh kemiringan terhadap kecepatan lalu lintas

Nilai %	Pengurangan Kecepatan Kendaraan dibandingkan dengan Jalan Datar				Kesesuaian Jenis Jalan
	Menanjak		Turun bukit		
	Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Kendaraan ringan	Kendaraan berat	
0 - 3	Minimal	Minimal	Minimal	Minimal	Untuk digunakan di semua jalan

3 - 6	Minimal	Sedikit pengurangan di jalan raya berkecepatan tinggi	Minimal	Minimal	Gunakan di jalan dengan kecepatan rendah-sedang. (Termasuk jalan dengan volume lalu lintas tinggi).
6 - 9	Hampir tidak terpengaruh	Jauh lebih lambat	Minimal	Minimal untuk penyalarsan lurus. Sangat penting untuk penyalarsan berkelok-kelok	Untuk penggunaan di jalan di daerah pegunungan. Biasanya perlu menyediakan jalur tambahan saat volume lalu lintas tinggi.
9 - 12	Lebih lambat	Jauh lebih lambat	Lebih lambat	Jauh lebih lambat untuk penyalarsan lurus. Jauh lebih lambat untuk penyalarsan berkelok-kelok	Perlu menyediakan jalur tambahan untuk volume lalu lintas sedang-tinggi. Pertimbangkan fasilitas kendaraan yang dapat melaju tanpa hambatan untuk lalu lintas komersial yang tinggi.
12 - 15	10-15 Km/jam lebih lambat	Maksimal 15%, bisa dinegosiasikan	10-15 km/jam lebih lambat	Sangat lambat	Memuaskan di jalan dengan volume rendah. Sedikit/tidak ada lalu lintas komersial.
15 - 33	Sangat lambat	Tidak bisa dinegosiasikan	Sangat lambat	Tidak bisa dinegosiasikan	Hanya dalam kasus ekstrem & pada jarak pendek. Tidak ada lalu lintas komersial.

Kemiringan dalam Desain Jalan Pedesaan

Ada dua kemiringan yang membatasi dalam desain jalan. Yang pertama adalah kemiringan minimum, Kemiringan ini bisa nol kecuali pada pemotongan yang harus memiliki kemiringan minimum 0,5% untuk menyediakan drainase jalan longitudinal. Kemiringan minimum absolut 0,33% (1 dalam 300) dapat digunakan selama saluran drainase mempertahankan kemiringan minimum 0,5% untuk memastikan drainase dari pemotongan. Kemiringan maksimum memengaruhi kinerja kendaraan, dan karenanya keselamatan. Panjang kemiringan maksimum juga memengaruhi kinerja, terutama kendaraan berat. Kemiringan curam yang pendek dapat ditoleransi sebelum penurunan kinerja menjadi masalah. Medan juga memengaruhi kemiringan maksimum, dengan kemampuan untuk menggunakan kemiringan yang lebih tinggi dalam jarak pendek. Hal ini dapat memengaruhi biaya konstruksi.

Tabel 9.4 Nilai maksimum umum

Kecepatan operasional (Kmh ⁻¹)	Medan		
	Datar	Bergulir	Bergunung-gunung
60	6-8	7-9	9-10
80	4-6	5-7	7-9
100	3-5	4-6	6-8
120	3-5	4-6	--
130	3-5	4-6	--

Panjang Lengkung Vertikal dalam Desain Jalan Pedesaan

Panjang lengkung vertikal harus sepanjang mungkin, dalam batasan ekonomi.

Panjang minimum lengkung vertikal diatur oleh:

1. Jarak pandang:
persyaratan dalam semua situasi untuk keselamatan pengemudi.
2. Penampilan:
umumnya diperlukan dalam situasi tanggul rendah dan medan datar.
3. Kenyamanan berkendara:
Persyaratan umum untuk membatasi peningkatan akselerasi vertikal melalui lengkung menurun hingga 0,05g. Melalui pendekatan ke jalan banjir, jalan standar rendah, dan persimpangan, peningkatan akselerasi vertikal dapat meningkat hingga 0,1g.

Nilai "K" dalam Desain Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal minimum yang diizinkan dalam profil jalan vertikal dan dapat dinyatakan sebagai nilai tunggal, nilai K, untuk memungkinkan desain jalan terkomputerisasi.

$K = L/A$ di mana:

- K = panjang kurva vertikal untuk perubahan kemiringan 1% (meter) L = panjang kurva vertikal (meter)
- A = perubahan kemiringan aljabar (%).

Contoh Kerja 9.5

Contoh kerja 9.4 menggunakan kurva sag dengan panjang $L = 200\text{m}$. Dari contoh: $A = 9,6\%$. $K = L/A = 200/9,6 = 21$ Dari Austroads, 2003, Tabel 10.5, hlm. 59, nilai K ini menunjukkan kecepatan operasi 110 Km/jam untuk kurva sag 0,05g, tetapi (Tabel 10.6,) hanya 70 Km/jam untuk "Jarak pandang lampu depan".

Jarak Pandang dalam Desain Kurva Vertikal

Austroads, 2003, Bab 8, memiliki pembahasan komprehensif tentang jarak pandang yang Anda rujuk. Jarak pandang adalah jarak yang diperlukan pengemudi untuk melihat, bereaksi, dan menghindari objek di jalan. Sejumlah parameter dimasukkan dalam berbagai skenario untuk menghitung jarak pandang. 3 parameter utama adalah:

1. Tinggi objek: garis persimpangan, 0,0 m; objek, 0,2 m; lampu belakang, 0,6 m Tinggi
2. Mata pengemudi: mobil, 1,05 m; truk, 2,4 m
3. Waktu reaksi: normal 2,5 detik; waspada, 2,0 detik.

Berbagai jenis jarak pandang dapat ditentukan:

1. Jarak pandang berhenti (SSD). Jarak yang diperlukan pengemudi yang waspada, yang melaju di jalan basah dengan kecepatan rencana, untuk melihat, bereaksi, dan mengerem hingga berhenti sebelum mencapai bahaya di jalan di depan.
2. Jarak pandang menyalip (OSD). Jarak yang diperlukan pengemudi untuk menyalip kendaraan yang lebih lambat dengan aman tanpa mengganggu kecepatan kendaraan yang melaju.
3. Jarak pandang manuver. Jarak yang dibutuhkan pengemudi yang waspada untuk melihat, bereaksi, mengerem, dan bermanuver untuk menghindari suatu objek. Umumnya sekitar 6% lebih rendah dari SSD.
4. Jarak pandang lampu depan. Jarak yang dapat diasumsikan dengan aman untuk visibilitas suatu objek di jalan beraspal. Jarak ini antara 120m dan 150m. Jarak ini sesuai dengan rentang kecepatan SSD antara 80Km/jam dan 90Km/jam, atau kecepatan jarak pandang manuver 100Km/jam. Objek dengan visibilitas aktif seperti target retro-reflektif (reflektor), lampu depan mobil, lampu belakang, dan objek besar atau berwarna terang dapat memungkinkan SSD pada kecepatan desain di malam hari. Peningkatan keluaran cahaya tidak banyak berpengaruh pada visibilitas. Peningkatan keluaran lima kali lipat hanya akan memungkinkan peningkatan kecepatan 15Km/jam. Peningkatan keluaran cahaya sepuluh kali lipat hanya akan memungkinkan pengurangan 50% dalam ukuran objek. Intensitas sinar dibatasi oleh persyaratan visibilitas berkendara dan silau terhadap kendaraan yang melaju.
5. Jarak pandang lengkung horizontal. Ini adalah jarak yang dibutuhkan pengemudi untuk melihat dan bereaksi terhadap keberadaan lengkung horizontal yang mungkin memerlukan penyesuaian kecepatan. Pengemudi perlu melihat lengkung yang cukup untuk menilai kelengkungannya. Minimumnya adalah: 5 derajat lengkung, ($\text{radius} \times 5^\circ$ dalam radian = $R \times 0,09$, 9% radius.) sekitar 80m panjang lengkung seluruh lengkung.

Lengkung horizontal yang "tersembunyi" di atas lengkung puncak dapat menyebabkan masalah persepsi tertentu. Berbagai jarak pandang ini menghasilkan rentang nilai "K" yang direkomendasikan yang perlu dimasukkan ke dalam desain lengkung profil vertikal. Tugas perancang adalah memastikan bahwa desain melebihi nilai minimum untuk kecepatan operasi desain dalam berbagai konfigurasi profil. Tugas surveyor adalah menerapkan desain ke rumus lengkung parabola untuk menghitung RL stasiun vertikal.

Panjang Lengkung Kurva Vertikal

Tugas yang dapat dilakukan adalah mencari panjang parabola yang menghubungkan dua tingkat kemiringan yang ditentukan. Hal ini sebagian besar dilakukan dengan menjumlahkan panjang tali busur antara setiap stasiun penandaan, jika memang tingkat akurasi tersebut diperlukan. Secara umum, panjang kurva vertikal, L, sudah cukup. Penurunan panjang busur parabola mana pun tidak diperiksa karena upaya yang diperlukan untuk melakukan perhitungan tidak memberikan keuntungan atas penjumlahan panjang tali busur.

Contoh yang dikerjakan 9.3 menghasilkan jawaban 200,0480m pada interval 20m (10 langkah). Pengulangan pada $dx = 1m$ (200 langkah) menghasilkan jawaban 200,0485m.

Ringkasan

Bagi Insinyur yang akan mengerjakan desain dan konstruksi jalan, selain alinyemen jalan horizontal yang disajikan dalam Bab 8, alinyemen jalan vertikal juga akan menjadi bagian dari tugas Anda. Hal ini diperlukan untuk kenyamanan pengemudi/penumpang saat kendaraan melewati puncak atau tanjakan, jarak berhenti yang aman jika terjadi bahaya atau benda, jarak menyalip yang aman atau jarak pandang lampu depan. Penyelarasan jalan vertikal terjadi saat gradien berubah dan dimodelkan menggunakan kurva parabola (tipe kuadrat). Penting bagi siswa untuk terlebih dahulu menentukan suku konstan persamaan parabola kemudian menerapkannya untuk memperoleh tingkat tereduksi (RL) pada rantai tertentu di sepanjang jalan. Bab ini menyajikan konsep dan contoh kerja tentang cara mencapainya.

BAB 10

SISTEM SATELIT NAVIGASI GLOBAL

10.1 PENDAHULUAN

Dalam karier Anda di bidang pertambangan dan teknik sipil, mode penentuan posisi sistem satelit navigasi global (GNSS) akan menjadi tugas rutin. Hal ini karena sistem satelit ini dengan cepat merevolusi industri-industri ini dengan cara yang tidak pernah terbayangkan oleh para penemunya. Ada banyak buku yang membahas topik-topik GNSS (lihat, misalnya, Awange 2012 dan referensi di dalamnya). Aplikasinya pada pekerjaan Teknik juga telah dibahas dalam buku-buku, misalnya, Uren dan Price (2010, Bab 7) dan Irvine dan Maclennan (2006, Bab 9). Dalam Bab ini, kami memberikan dasar-dasar GNSS dan merujuk siswa yang tertarik ke buku-buku ini. Secara khusus, buku karya El-Rabbany (2006) cocok untuk pemula karena tidak memiliki banyak persamaan yang ditemukan dalam buku-buku GNSS lainnya menawarkan contoh penerapannya pada lingkungan, suatu bidang yang dapat menarik minat baik insinyur pertambangan maupun sipil yang menangani dampak lingkungan dari operasi mereka. Pada Bagian 10.1, kami menunjukkan bagaimana GNSS merevolusi operasi pertambangan dan teknik sipil. Bagian 10.3 kemudian menyajikan kepada siswa operasi dasar GNSS dengan GPS sebagai contoh. Kesalahan yang mendasari operasi GNSS dibahas pada Bagian 10.4 sebelum menyimpulkan bab tersebut pada Bagian 10.5.

Sepanjang sejarah, penentuan posisi (lokasi) telah menjadi salah satu tugas mendasar yang dilakukan oleh manusia setiap hari. Setiap hari, seseorang berurusan dengan penentuan posisi, baik itu pergi bekerja, pasar, olahraga, gereja, masjid, kuil, sekolah atau perguruan tinggi, seseorang harus mulai dari lokasi yang diketahui dan bergerak menuju tujuan lain yang diketahui. Seringkali lokasi awal dan akhir diketahui karena fitur fisik di sekitarnya membentuk referensi yang kita gunakan untuk menavigasi diri kita sendiri. Jika tidak ada fitur referensi ini, misalnya di padang pasir atau laut, seseorang kemudian memerlukan beberapa alat yang dapat memberikan pengetahuan tentang posisi. Bagi pendaki gunung, pilot, pelaut, dll., pengetahuan tentang posisi sangatlah penting. Cara tradisional untuk menemukan posisi seseorang adalah dengan menggunakan peta atau kompas untuk menentukan arah. Namun, di zaman modern, masuknya Sistem Satelit Navigasi Global (GNSS; Hofmann-Wellenhof 2008) yang terdiri dari Sistem Pemosisian Global (GPS) AS, Sistem Satelit Navigasi Global (GLONASS) Rusia, Galileo Eropa, dan Kompas yang diusulkan Tiongkok telah merevolusi seni penentuan posisi. Penggunaan satelit GNSS dapat diilustrasikan dengan baik melalui kasus ketika seseorang tersesat di tengah gurun atau lautan dan berusaha mengetahui lokasi persisnya.

Dalam kasus seperti itu, seseorang memerlukan penerima GNSS untuk dapat menemukan posisi dirinya sendiri. Dengan asumsi seseorang memiliki akses ke penerima GNSS genggam, telepon seluler atau jam tangan yang dilengkapi dengan penerima GPS, seseorang hanya perlu menekan tombol dan posisi akan ditampilkan dalam bentuk garis bujur geografis, λ dan garis lintang, φ . Seseorang kemudian perlu menemukan nilai-nilai ini pada

peta yang diberikan atau menekan tombol untuk mengirim posisinya sebagai layanan pesan singkat (sms) pada telepon seluler seperti halnya dalam misi pencarian dan penyelamatan. Untuk tugas pertambangan dan teknik, penggunaan GNSS telah merevolusi cara operasi dilakukan. Peningkatan penggunaan sipil telah menyebabkan keinginan otonomi oleh berbagai negara yang pada gilirannya telah memulai merancang dan mengembangkan sistem mereka sendiri. Dalam hal ini, negara-negara Eropa sedang mengembangkan sistem Galileo, Rusia memodernisasi sistem GLONASS mereka sementara Cina meluncurkan sistem Kompas baru. Semua sistem ini membentuk GNSS dengan kemampuan posisi yang diinginkan yang cocok untuk operasi pertambangan dan tugas teknik sipil. Kemampuan GNSS yang diinginkan ini adalah:

- ✓ Global: Fitur ini memungkinkan penggunaannya di mana saja di bumi.
- ✓ Segala cuaca: Fitur ini membuat GNSS berguna selama periode berawan dan hujan.
- ✓ Mampu menyediakan cakupan 24 jam: Fitur ini memungkinkan pengamatan siang dan malam dan dengan demikian dapat memungkinkan, misalnya, misi penyelamatan dalam operasi tambang dilakukan kapan saja.
- ✓ Lebih murah: Dibandingkan dengan teknik pengamatan survei terestrial lainnya seperti perataan dan lintasan yang dibahas masing-masing dalam Bab 2 dan 5, GNSS ekonomis karena fakta bahwa sebagai sebuah operasi, hanya sedikit operator yang diperlukan untuk mengoperasikan penerima dan memproses data. Oleh karena itu, lebih sedikit waktu yang diperlukan untuk melakukan survei GNSS guna memperoleh solusi karena menggabungkan kedua prosedur (perataan dan lintasan) menjadi satu operasi untuk memperoleh posisi tiga dimensi.
- ✓ Mampu menggunakan kerangka acuan umum global.

10.2 GNSS, SEBUAH REVOLUSI BAGI INDUSTRI PERTAMBANGAN DAN TEKNIK SIPIL

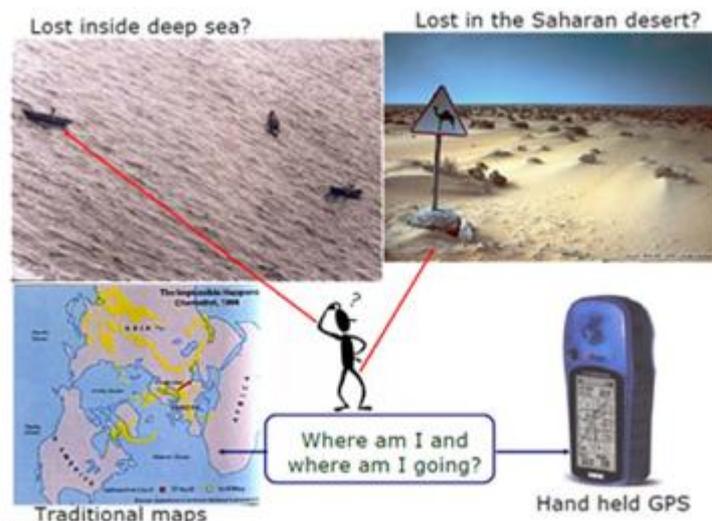
Prinsip pengukuran dan Keluarga GNSS

Posisi dihitung dengan mengukur jarak penerima dari satelit secara akurat dengan menentukan penundaan sinyal radio yang dikirimkan oleh satelit. Penundaan ini diukur dengan mencocokkan dan membandingkan sinyal yang diterima dengan sinyal yang dihasilkan penerima yang setara. Pengukuran yang lebih tepat menggunakan fase alih-alih pengukuran waktu. Namun, sinyal tersebut rentan terhadap berbagai sumber kesalahan, yang dibahas dalam Bagian 10.4. Untuk pembahasan terperinci tentang prinsip pengukuran, Sistem Pemosisian Global atau GPS adalah sistem GNSS tertua dan paling banyak digunakan, dan dengan demikian akan dibahas secara luas dalam bab ini. Pengembangan satelit GPS dimulai sejak tahun 1960-an. Pada tahun 1973, militer AS telah memulai program yang berpuncak pada Sistem Navigasi dengan Pengaturan Waktu dan Jarak (NAVSTAR) GPS, yang mulai beroperasi penuh pada tahun 1995. Tujuan keseluruhannya adalah untuk mengembangkan alat yang dapat digunakan untuk menemukan titik-titik di Bumi tanpa menggunakan target terestrial, yang sebagian di antaranya dapat berbasis di wilayah yang bermusuhan dengan AS. Oleh karena itu, satelit GPS terutama dirancang untuk digunakan oleh militer AS yang beroperasi di mana saja di dunia, dengan tujuan menyediakan data posisi, navigasi, dan

kecepatan 3D pasif secara real-time. Aplikasi sipil dan transfer waktu meskipun penggunaan GPS yang dominan, pada kenyataannya, merupakan peran sekunder. Tak mau ketinggalan, Rusia mengembangkan GLONASS yang pertama kali diluncurkan pada tahun 1982 dan telah beroperasi setelah mencapai kemampuan operasional penuh pada tahun 1995. Konstelasi penuh harus terdiri dari 21 satelit dalam 3 orbit ditambah 3 cadangan yang mengorbit pada ketinggian 25.000 km di atas permukaan Bumi. Anggota lain dari keluarga GNSS meliputi BeiDou milik Republik Rakyat Tiongkok (juga dikenal sebagai Kompas) dan Galileo milik Eropa yang sedang dalam pengembangan.

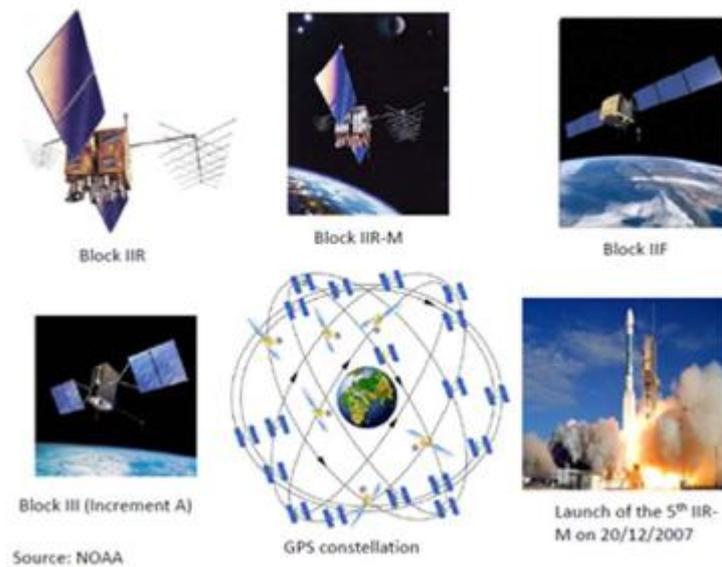
Aplikasi untuk Operasi Pertambangan dan Teknik Sipil

Dengan penerima GNSS yang mengalami peningkatan signifikan untuk meningkatkan keandalannya dan kualitas sinyal yang dilacak serta banyaknya satelit GNSS yang dibahas di bagian atas, dunia akan segera dipenuhi dengan berbagai jenis penerima yang akan dapat melacak beberapa atau semua satelit GNSS. Memang, tidak dapat disangkal bahwa mereka akan merevolusi operasi pertambangan dan teknik sipil. Pekerjaan teknik sipil dan pertambangan akan sangat diuntungkan dari satelit GNSS yang disempurnakan dan ditingkatkan ini. Pertama, kemungkinan menggabungkan beberapa sistem satelit GNSS utama dapat berdampak positif pada akurasi teknik dan pertambangan dengan memenuhi permintaan berbagai pengguna, misalnya, untuk pertambangan terbuka di mana jalur pengangkutan dan mesin menggunakan sistem navigasi GPS. Lebih jauh, misi keselamatan dan penyelamatan di pertambangan akan diuntungkan dari peningkatan akurasi posisi. Jelas, perusahaan pertambangan semakin menuntut karyawan mereka untuk membiasakan diri dengan penggunaan penerima GNSS genggam (misalnya, Gambar 10.1) untuk tujuan penyelamatan selain penggunaannya dalam prospeksi dan eksplorasi. Tugas-tugas tersebut akan mendapat manfaat dari sistem GNSS yang diperluas dan ditingkatkan.



Gambar 10.1 Penggunaan GNSS Untuk Menentukan Posisi Diri

Untuk pekerjaan teknik sipil, kemampuan untuk mencapai akurasi posisi level cm-mm secara real time akan secara signifikan mengurangi biaya operasional karena tugas perataan (Bab 2) dan tugas melintasi (Bab 5) sekarang mampu dilakukan dengan menggunakan penerima GNSS. Ini juga akan menguntungkan pemantauan pasca konstruksi struktur untuk deformasi. Sementara penerima mandiri (tunggal) seperti pada Gambar 10.1 telah diketahui memiliki akurasi 3-15 m, sistem GNSS yang diperluas dan ditingkatkan sudah mendorong akurasi ini ke level sub-meter. Ini diharapkan bermanfaat bagi pekerjaan pengintaian di mana stasiun akan diidentifikasi dalam radius kurang dari 3m.



Gambar 10.2 Segmen Ruang

10.3 DESAIN DAN PENGOPERASIAN GPS

Secara umum, GPS terdiri dari segmen antariksa, kontrol, dan pengguna, yang dijelaskan dalam subbagian berikut.

Segmen Antariksa

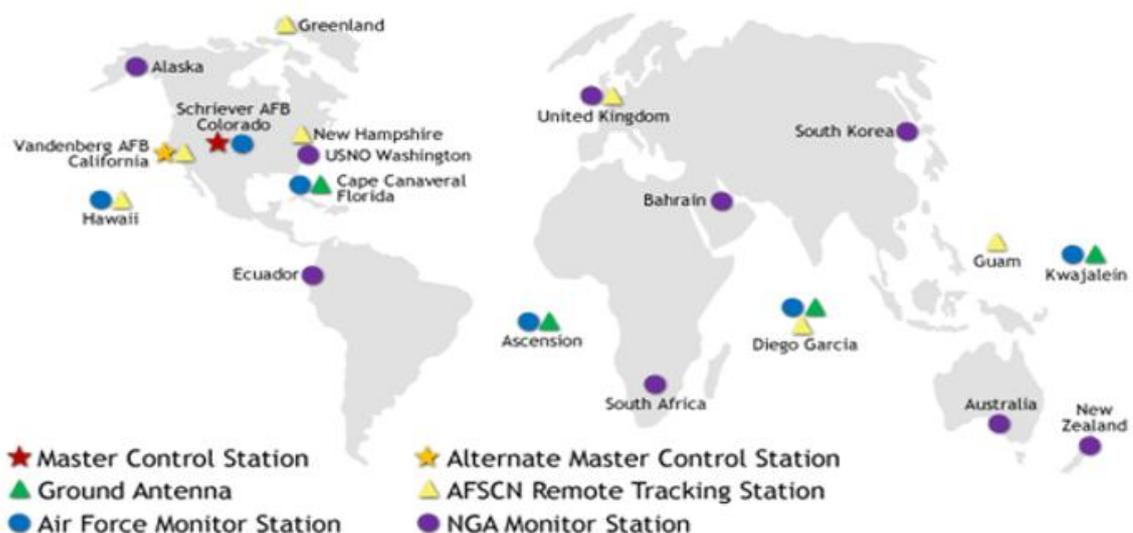
Segmen ini dirancang untuk terdiri dari 24 satelit ditambah 4 satelit cadangan yang mengorbit dalam orbit hampir melingkar pada ketinggian sekitar 20.200 km di atas permukaan Bumi. Pada bulan Juni 2011, orbit disesuaikan untuk menyediakan konstelasi 27 slot3 (“24 yang Dapat Diperluas”) untuk cakupan garis dasar yang lebih baik. Hingga September 2016, terdapat 31 satelit GPS operasional di antariksa. Setiap satelit membutuhkan waktu sekitar 11 jam 58 menit 2 detik untuk mengorbit Bumi (yaitu, dua orbit sideris Bumi per hari, Agnew dan Larson 2007). Konstelasi 24 yang dapat diperluas terdiri dari 6 bidang orbit yang miring pada sudut 55° dari ekuator, setiap bidang orbit berisi 4 + 1 satelit. Dengan pengaturan ini, dan elevasi di atas 15°, sekitar 4 hingga 8 satelit dapat diamati di mana saja di Bumi pada waktu kapan saja. Ini penting untuk mendapatkan posisi 3D secara real time. Satelit itu sendiri terdiri dari panel surya, komponen internal (jam atom dan pemancar radio) dan komponen eksternal seperti antena. Orientasi satelit di luar angkasa sedemikian rupa sehingga panel surya

menghadap matahari untuk menerima energi guna memberi daya pada satelit sementara antena menghadap Bumi untuk mengirimkan dan menerima sinyal radio.

Segmen Kontrol

Segmen kontrol GPS terdiri dari stasiun induk, stasiun pemantau, dan stasiun darat. Stasiun kontrol utama terletak di Colorado Springs (Pangkalan Angkatan Udara Schriever, Colorado) dengan stasiun cadangan di Vandenberg, California. Stasiun darat terdiri dari empat antena yang terletak di Cape Canaveral, Florida, Pulau Ascension di Samudra Atlantik, Diego Garcia di Samudra Hindia, dan Pulau Kwajalein di Samudra Pasifik. Pada September 2016, sembilan stasiun pemantauan NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), enam stasiun pemantauan USAF, dan tujuh stasiun pelacakan jarak jauh (AFSCN) menjadi bagian dari jaringan, yang memungkinkan setiap satelit dilihat oleh setidaknya dua stasiun pemantauan dan dengan demikian meningkatkan akurasi parameter orbit satelit yang dihitung yang dikenal sebagai ephemeris. Stasiun-stasiun ini memantau parameter orbit dan mengirimkan informasi ke stasiun kontrol utama di Colorado Springs. Informasi yang diperoleh dari stasiun pemantauan yang melacak satelit ini selanjutnya digunakan untuk mengendalikan satelit dan memperkirakan orbitnya. Hal ini dilakukan melalui pemrosesan dan analisis informasi oleh stasiun induk, yang menghitung ephemeris satelit dan parameter jam serta mengirimkannya ke satelit melalui stasiun pemantauan. Ephemeris satelit terdiri dari posisi dan kecepatan satelit yang diprediksi pada waktu tertentu.

Ada sebelas antena komando dan kontrol yang tersebar di seluruh dunia yang melengkapi sistem kontrol dengan memantau dan melacak satelit di luar angkasa serta mengirimkan informasi koreksi ke satelit individual melalui antena darat. Stasiun-stasiun ini merupakan bagian dari jaringan Layanan GNSS Internasional (IGS) yang terdiri dari lebih dari 400 lokasi pemantauan yang mencakup semua transmisi GNSS. Oleh karena itu, jaringan kontrol darat bertanggung jawab untuk melacak dan memelihara konstelasi satelit dengan memantau kesehatan satelit dan integritas sinyal serta memelihara konfigurasi orbit satelit.



Gambar 10.3 Segmen Kontrol Gps, April 2016

Segmen Pengguna

Segmen pengguna terdiri dari penerima (yang sebagian besar terdiri dari 12 saluran), yang dapat dipegang dengan tangan (juga tersedia di jam tangan, ponsel, dll.) atau penerima yang dapat dipasang misalnya, di kendaraan, atau diposisikan secara permanen. Ketersediaan 12 saluran memungkinkan penerima untuk melacak dan memproses data dari 12 satelit secara paralel, sehingga meningkatkan akurasi posisi. Penerima ini digunakan oleh berbagai pengguna untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari mereka. Penggunaan GPS begitu luas dan beragam sehingga Awange dan Grafarend (2005) menyebutnya sebagai Pemecah Masalah Global (GPS). Untuk keperluan militer, GPS berguna dalam memandu pesawat tempur, pembom, dan rudal, serta unit angkatan laut dan darat. Penggunaan sipil mencakup berbagai aplikasi, seperti pertambangan, yang digunakan untuk memandu mesin berat, atau menemukan posisi di pertanian dalam apa yang dikenal sebagai "pertanian presisi". Dengan menggunakan GPS dan GIS, petani dapat mengintegrasikan lokasi, jumlah pupuk, dan hasil panen yang diharapkan, serta menganalisis ketiganya untuk mendapatkan hasil yang optimal. Perusahaan pelacakan mobil modern menggunakan GPS untuk menemukan kendaraan atau truk curian yang menyimpang dari rute yang telah ditentukan, sementara di sektor penerbangan, GPS dapat digunakan di pesawat terbang dan bandara untuk memandu pendaratan dan lepas landas. GPS juga banyak digunakan dalam olahraga seperti pendakian gunung. Oleh karena itu, daftar kegunaannya hanya terbatas pada imajinasi kita.

10.4 KESALAHAN DALAM PENGUKURAN GPS

Sama seperti pengukuran lainnya, akurasi yang diperoleh dari pengukuran GPS dapat mengalami kesalahan yang menurunkan kualitas parameter yang diperoleh, termasuk yang penting untuk operasi sipil dan pertambangan. Bagian ini mempertimbangkan beberapa kesalahan paling signifikan yang merusak pengamatan GPS dan membahas bagaimana kesalahan ini dapat diminimalkan dan/atau dihindari.

Kesalahan Ephemeris

Saat satelit bergerak di sepanjang orbitnya, satelit dipengaruhi oleh gaya eksternal seperti tarikan gravitasi matahari dan bulan (bulan), serta semburan matahari berkala. Untuk garis dasar yang lebih pendek (yaitu, jarak kurang dari 30 km antara dua penerima di Bumi), kesalahan orbit cenderung saling meniadakan melalui teknik pembedaan. Namun, pada garis dasar yang panjang, misalnya, lebih dari 1000 km, kesalahan orbit tidak lagi saling meniadakan karena penerima yang berbeda merasakan komponen kesalahan yang berbeda karena perubahan signifikan dalam arah vektor. Dengan menggunakan data dari stasiun pemantauan, stasiun kontrol utama memprediksi posisi satelit (ephemeris siaran), yang dikirimkan kepada pengguna sebagai bagian dari pesan navigasi bersama dengan sinyal data selama penentuan posisi. Keakuratan ephemeris siaran telah meningkat pesat, yaitu dari 20-80 m pada tahun 1987 menjadi 2 m saat ini, mengaitkan peningkatan ini dengan perangkat lunak operasional yang lebih unggul dan pemodelan orbital yang lebih baik. Ephemeris siaran berguna untuk penentuan posisi waktu nyata (yaitu, jika penerima GPS diharapkan memberikan hasil saat mengumpulkan pengukuran di lapangan). Di sisi lain, ephemeris yang tepat berguna untuk

tugas pasca pemrosesan yang diperlukan nanti. Dalam kasus seperti itu, posisi satelit yang diproses pasca-pemrosesan oleh stasiun pelacakan global lainnya tersedia 17 jam hingga 2 minggu kemudian dengan akurasi meter. Untuk tugas operasi sipil dan tambang, kesalahan ini harus dihilangkan saat menentukan kontrol (vertikal dan horizontal yang dibahas masing-masing dalam Bab 2 dan 5). Untuk tugas lain, seperti panduan mesin di pertambangan dan survei jalan umum di teknik sipil, kesalahannya mungkin tidak signifikan dan penggunaan prosedur posisi yang benar yang meminimalkannya seharusnya sudah cukup.

Kesalahan Jam

Jam satelit adalah jam atom yang presisi (misalnya, standar waktu rubidium dan cesium). Sebaliknya, penerima tidak dapat menyertakan jam atom karena biayanya terlalu tinggi bagi pengguna dan karena alasan keselamatan. Oleh karena itu, jam di dalam penerima kurang presisi dan rentan terhadap kesalahan. Ini bukan berarti jam satelit bebas kesalahan, tetapi besarnya kesalahan penerima jauh lebih tinggi. Jam satelit dan penerima juga harus disinkronkan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan sinyal untuk bergerak dari satelit ke penerima. Karena sinkronisasi biasanya tidak sempurna, kesalahan cenderung terjadi. Kesalahan ini juga dikenal sebagai selisih waktu, yaitu perbedaan antara waktu yang direkam oleh satelit dan yang direkam oleh penerima. Kesalahan jam satelit kecil dalam besarnya dan mudah diperbaiki karena stasiun kontrol darat memantau pergeseran waktu secara ketat dan dapat menentukan polinomial orde kedua yang secara akurat memodelkan pergeseran waktu. Polinomial orde kedua ini disertakan dalam pesan siaran. Kesalahan jam penerima ditentukan sebagai gangguan yang tidak diketahui bersama dengan parameter koordinat yang diperlukan dalam persamaan pengamatan dan ini menjelaskan perlunya satelit keempat.

Kesalahan Atmosfer

Atmosfer adalah media di atas Bumi yang dilalui sinyal GPS sebelum mencapai penerima. Partikel bermuatan di ionosfer (50-1000 km) dan uap air di troposfer (1-8 km) memengaruhi kecepatan sinyal GPS, yang menyebabkan panjang lintasan optik antara satelit dan penerima dan penundaan dalam waktu yang dibutuhkan sinyal GPS untuk mencapai penerima. Oleh karena itu, salah satu tugas utama perangkat lunak pemrosesan GPS geodetik adalah untuk "mengoreksi" rentang antara satelit dan penerima guna menghilangkan pengaruh atmosfer Bumi, sehingga mengurangi semua panjang lintasan optik menjadi panjang lintasan garis lurus. Ionosfer terbuat dari elektron bermuatan negatif, atom dan molekul bermuatan positif yang disebut ion. Partikel bermuatan tersebut merupakan hasil dari elektron bebas yang terdapat di lapisan atas atmosfer dan disebabkan oleh aktivitas matahari dan badai geomagnetik. Jumlah elektron bebas di kolom area satuan yang dilalui sinyal antara satelit pengirim dan penerima membentuk apa yang dikenal dalam literatur GPS sebagai Total Electron Content (TEC). Elektron bebas di ionosfer menunda pengukuran kode GPS, sehingga membuatnya terlalu panjang di satu sisi sementara memajukan pengukuran fase GPS, membuatnya terlalu pendek di sisi lain, sehingga menghasilkan rentang yang salah yaitu, kesalahan dalam rentang yang diukur. Ukuran penundaan atau kemajuan (yang dapat mencapai puluhan meter) bergantung pada TEC dan frekuensi pembawa, yaitu, ionosfer adalah media dispersif.

Efek kesalahan refraksi ionosfer pada nilai rentang GPS bergantung pada aktivitas bintik matahari, waktu, geometri satelit, lokasi geografis, dan musim. Penundaan ionosfer dapat bervariasi dari 40-60 m pada siang hari hingga 6-12 m pada malam hari. Operasi GPS yang dilakukan selama periode aktivitas bintik matahari atau dengan satelit di dekat cakrawala menghasilkan hasil jangkauan dengan kesalahan tertinggi, sedangkan pengamatan GPS yang dilakukan selama aktivitas bintik matahari rendah, pada malam hari, atau dengan satelit di dekat zenith menghasilkan hasil jangkauan dengan kesalahan ionosfer terkecil. Efek ionosfer menonjol pada garis dasar yang lebih panjang ($> 30-50$ km) meskipun aktivitas ionosfer yang tinggi dapat memengaruhi jarak yang lebih pendek. Kesalahan ionosfer dapat dikurangi secara signifikan melalui:

- ✓ Penggunaan frekuensi ganda. Karena kecepatan sinyal melalui ionosfer bergantung pada frekuensi (media dispersif), efek ionosfer yang menyebabkan penundaan sekitar 2-80 m dapat dimodelkan menggunakan kombinasi frekuensi. Efek tersebut sebagian besar dihilangkan dengan membandingkan penundaan sinyal frekuensi L1 dan L2 dan memanfaatkan hubungan dispersi yang diketahui untuk atmosfer (Brunner dan Gu 1991). Kerugian penggunaan frekuensi ganda adalah meningkatnya gangguan dan dengan demikian, pendekatan ini berguna terutama untuk garis dasar yang lebih panjang. Untuk garis dasar yang sangat pendek (< 5 km), di mana atmosfer diasumsikan seragam, kesalahan ionosfer diminimalkan setelah teknik pembedaan digunakan.
- ✓ Pemodelan. Pesan navigasi GPS berisi parameter koreksi ionosfer yang digunakan dalam model koreksi selama pemrosesan data. Beberapa model koreksi ionosfer, seperti model Klobuchar, tersedia dalam perangkat lunak komersial dan dapat digunakan untuk mengurangi kesalahan ionosfer. Namun, ini hanya memberikan nilai perkiraan yang biasanya tidak menghilangkan lebih dari 50% kesalahan. Selain itu, pemodelan umumnya tidak efisien dalam menangani variasi jangka pendek dalam kesalahan ionosfer.

Media kedua, troposfer, juga dikenal sebagai atmosfer netral, terdiri dari 75% dari total massa molekul atmosfer, serta semua uap air dan aerosol. Troposfer adalah media non-dispersif, yaitu, refraksi tidak bergantung pada frekuensi sinyal yang melewatinya. Kesalahan troposfer bervariasi secara signifikan dengan garis lintang dan ketinggian dan bergantung pada zona iklim. Oleh karena itu, atmosfer netral merupakan campuran gas kering dan uap air. Uap air unik dalam campuran ini karena merupakan satu-satunya konstituen yang memiliki kontribusi momen dipol terhadap refraksinya, sehingga mengarah pada perlakuan terpisah antara kontribusi dipol dan non-dipol terhadap refraksi oleh uap air dan konstituen lain di atmosfer. Kesalahan troposfer dengan demikian terdiri dari dua bagian: bagian hidrostatis, yang umumnya disebut dalam berbagai teks GPS sebagai "bagian kering", dan komponen dipol yang dikenal sebagai "bagian basah". Baik penundaan hidrostatis maupun basah adalah yang terkecil untuk lintasan yang berorientasi sepanjang arah zenith dan meningkat kira-kira berbanding terbalik dengan sinus sudut elevasi, yaitu, kedua penundaan akan cenderung meningkat sekitar faktor 4 dari zenith ke elevasi sekitar 15° .

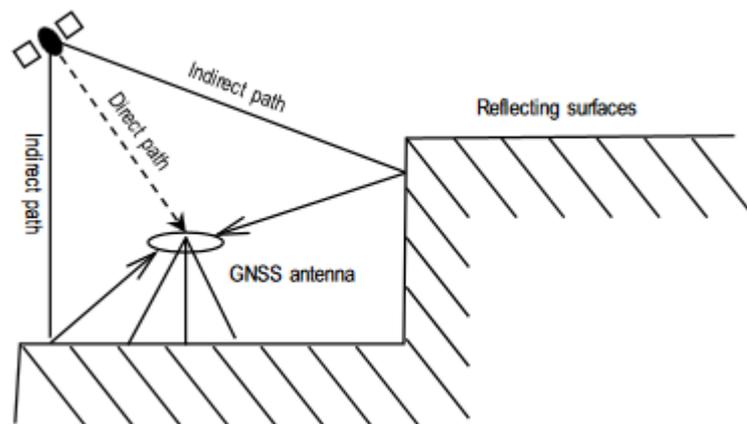
Bagian hidrostatik menyumbang 90% dari kesalahan troposfer. Hal ini mudah dimodelkan hingga beberapa milimeter atau lebih baik mengingat tekanan permukaan. Sisanya 10% terjadi dari bagian basah, yang dihasilkan dari uap air, yang bergantung pada refraksi udara tempat sinyal bergerak. Refraksi udara bergantung pada (1) kepadatan molekul udara (komponen kering) dan (2) kepadatan uap air (komponen basah). Di atas ketinggian 50 km, kepadatan molekul sangat rendah dan karenanya efeknya kecil. Meskipun penundaan basah selalu jauh lebih kecil daripada penundaan hidrostatik, penundaan ini biasanya jauh lebih bervariasi dan lebih sulit dihilangkan. Oleh karena itu, penundaan troposfer bergantung pada suhu, tekanan, dan kelembapan serta memengaruhi sinyal dari satelit pada ketinggian yang lebih rendah lebih banyak daripada yang berada pada ketinggian yang lebih tinggi. Misalnya, El-Rabbany dan Belvis (1992) menunjukkan bahwa penundaan troposfer menghasilkan kesalahan pseudorange sekitar 2,3 m untuk satelit di zenith (yaitu, satelit tepat di atas kepala), 9,3 m pada ketinggian 15° , dan 20-28 m untuk ketinggian 5° . Oleh karena itu, semakin rendah sudut elevasi sinyal GPS yang masuk, semakin besar efek troposfer karena sinyal menempuh jalur yang lebih panjang melalui troposfer. Penundaan troposfer dapat menjadi masalah, terutama ketika stasiun tersebar luas pada ketinggian yang berbeda. Misalnya, udara dingin (padat) dapat terakumulasi di cekungan pegunungan pada malam yang cerah dan tenang sementara puncak gunung mungkin jauh lebih hangat. Penundaan troposfer juga dapat menunjukkan variasi jangka pendek, misalnya, karena berlalunya front cuaca.

Bagian hidrostatik dapat dimodelkan dengan menggunakan data meteorologi permukaan atau dengan memperolehnya dari sumber eksternal seperti Pusat Prakiraan Cuaca Menengah Eropa (ECMWF) dan Pusat Prediksi Lingkungan Nasional (NCEP). Sedangkan penundaan hidrostatik dapat dimodelkan dari data meteorologi permukaan, komponen basah tidak dapat ditentukan secara akurat dengan cara yang sama, tetapi diukur dari radiometer uap air (WVR) atau dengan memperkirakan secara langsung penundaan basah zenith yang bervariasi dari waktu ke waktu (ZWD) sebagai variabel yang tidak diketahui dari pengamatan GPS. Teknik estimasi ini biasanya mengasumsikan simetri azimuthal atmosfer, dan memanfaatkan bentuk ketergantungan elevasi penundaan (yaitu, fungsi pemetaan) dan fakta bahwa penundaan sedikit berubah dalam jangka waktu yang pendek. Analisis ini biasanya membatasi variasi penundaan basah zenith antara 1 dan 20 mm per jam, tergantung pada lokasi dan waktu dalam setahun, yang mengarah pada pemulihan ZWD dari data GPS dengan akurasi antara 5 dan 20 mm. Dalam sebagian besar perangkat lunak pemrosesan, ZWD diperkirakan menggunakan model Integrated Precipitate Water Vapour (IPWV). Banyak model, misalnya, Saastamoinen, Hopfield, dan Magnet, telah diusulkan untuk memodelkan kesalahan troposfer, lihat misalnya,). Beberapa model ini bergantung pada masukan data meteorologi yang sebenarnya. Namun, prinsip pengamatan terbaik adalah menjaga garis dasar sesingkat mungkin.

Multipath

Sekarang perhatikan sinyal satelit yang dimaksudkan untuk berjalan langsung ke penerima yang dipantulkan oleh permukaan, Pseudorange terukur yang mencapai penerima akhirnya menjadi lebih panjang daripada pseudorange sebenarnya jika sinyal berjalan

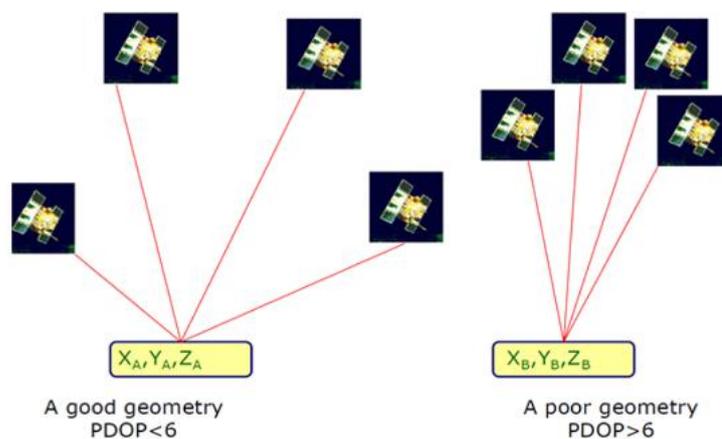
langsung. Di daerah perkotaan, keberadaan bangunan berkontribusi besar terhadap efek multipath. Kesalahan multipath dapat dihindari dengan menempatkan receiver di tempat tanpa permukaan reflektif atau refraktif. Praktik terbaik adalah menempatkan receiver setidaknya 3 m dari dinding yang memantulkan dan sebagai tambahan menggunakan antena GPS dengan bidang tanah yang membuang sinyal pantulan tidak langsung (yang berdaya lebih rendah). Antena choke ring juga menyediakan sarana untuk mengurangi multipath sementara receiver lain memiliki mekanisme penyaringan internal. Perencanaan misi yang baik juga membantu mengurangi efek multipath.



Gambar 10.4 Multipath

“Geometri” Konstelasi Satelit

Pengenceran presisi (DOP) bergantung pada distribusi satelit di ruang angkasa. Dengan visibilitas yang jelas dan jumlah satelit yang banyak, nilai DOP rendah, yang menunjukkan geometri yang baik. Namun, dengan penghalang dan jumlah satelit yang lebih sedikit, nilai DOP menjadi tinggi, yang menunjukkan geometri yang buruk yang dapat berdampak negatif pada akurasi posisi. Selain itu, yang digunakan untuk mengukur kekuatan geometri adalah Pengenceran Presisi Posisi (PDOP) yang pada dasarnya dapat digunakan sebagai ekspresi kualitas geometri satelit. Biasanya, nilai PDOP kurang dari 6 tetapi lebih besar dari 1 diinginkan.



Gambar 10.5 Pengenceran Posisi Presisi (PDOP)

Sumber Kesalahan Lainnya

Sumber kesalahan lain yang dapat menurunkan akurasi meliputi kesalahan perangkat keras akibat variasi pusat fase antena dengan ketinggian satelit. Kesalahan ini lebih besar pada ketinggian di bawah 15° tetapi lebih kecil antara 15° dan 60° . Selain itu, terdapat gangguan penerima (misalnya, pemrosesan sinyal, sinkronisasi jam, resolusi penerima, gangguan sinyal, dll.) dan selip siklus yang terjadi saat penerima kehilangan kendali pada satelit karena, misalnya, penyumbatan sinyal oleh bangunan. Interferensi radio, gangguan ionosfer yang parah, dan dinamika penerima yang tinggi juga dapat menyebabkan hilangnya sinyal El-Rabbany.

Ringkasan

Singkatnya, bab ini telah menyajikan dasar-dasar satelit GPS dengan melihat area aplikasi dalam operasi sipil dan pertambangan, dan kesalahan terkait. Secara umum, prinsip pengukuran dan kesalahan yang dibahas dalam bab ini juga berlaku untuk semua sistem GNSS lainnya (GLONASS, Galileo, dan Kompas). Mereka hanya berbeda dalam desain, struktur sinyal, dan sistem koordinat. Dengan sistem GNSS yang diantisipasi yang akan mencakup berbagai Satelit Pemosisian Global, operasi sipil dan tambang serta tugas manajemen yang memerlukan penggunaan satelit akan diuntungkan dari peningkatan jumlah satelit. Peningkatan jumlah satelit akan memiliki keuntungan tambahan dibandingkan dengan sistem GPS yang saat ini digunakan. Beberapa keuntungannya termasuk frekuensi tambahan, yang akan memungkinkan pemodelan kesalahan ionosfer dan atmosfer dengan resolusi yang lebih baik; sinyal tambahan yang akan menguntungkan berbagai tugas; dan berbagai satelit yang lebih luas yang dapat dipilih oleh pengguna. GNSS akan menawarkan akurasi, integritas, dan kinerja efisiensi yang jauh lebih baik untuk semua jenis komunitas pengguna di seluruh dunia. Penggunaan GNSS secara terperinci untuk pemantauan dan manajemen lingkungan.

BAB 11

PENATAAN STRUKTUR TEKNIK

11.1 PENDAHULUAN

Pada bab-bab sebelumnya, metode dan teknik untuk menetapkan kontrol horizontal dan kontrol vertikal telah disajikan. Bab ini sekarang menggunakan keterampilan yang dipelajari pada Bab-bab sebelumnya untuk menata struktur secara fisik di tanah. Ini termasuk, misalnya, penataan bangunan untuk insinyur sipil atau jalan angkut untuk penambangan terbuka. Yang penting adalah mengetahui tugas yang dituntut dari Anda, keakuratan untuk menatanya dan memeriksa kesalahan, pencatatan catatan lapangan dan pembacaan rencana, dan yang terakhir, struktur komunikasi dan kerja tim saat menata struktur. Oleh karena itu, bab ini mempersiapkan Anda dengan keterampilan yang diperlukan untuk menata struktur teknik secara praktis. Di akhir Bab, Anda harus:

- ✓ Memahami tujuan dasar penataan pekerjaan sipil.
- ✓ Menghargai pertimbangan penting utama.
- ✓ Memahami tahapan dalam menetapkan posisi horizontal dan vertikal.
- ✓ Membedakan berbagai metode penetapan.

Definisi: Penetapan dapat didefinisikan sebagai penetapan tanda dan garis untuk menentukan posisi dan ketinggian titik-titik utama agar konstruksi dapat dilaksanakan. Prosedur yang diadopsi harus memastikan bahwa fitur desain tertentu, yaitu bangunan, jalan, dll., diposisikan dengan benar baik secara absolut maupun relatif pada tahap konstruksi. Dua tujuan utama survei penetapan adalah untuk:

- a. Menempatkan struktur pada posisi relatif dan absolut yang benar, yaitu, struktur harus berukuran benar, pada posisi denah yang benar, dan pada ketinggian yang benar.
- b. Dilakukan dengan cepat dan efisien untuk meminimalkan biaya dan keterlambatan konstruksi tetapi harus diperiksa sepenuhnya.

misalnya, terowongan harus ditetapkan pada lokasi yang benar (horizontal) relatif terhadap pepohonan dan ketinggian yang benar agar kereta api dapat melewatinya.

Pertimbangan Penting:

- ✓ Pencatatan dan pengarsipan informasi – lakukan sekali, lakukan dengan benar.
- ✓ Perawatan instrumen – lindungi, simpan, bersihkan, periksa, dan rawat instrumen. Selama proyek rekayasa, penting bagi surveyor untuk memeriksa dan merawat peralatannya secara teratur. Pemeriksaan dan penyesuaian dapat diringkas sebagai berikut:

Kalibrasi EDM untuk menentukan:

- a) Konstanta Aditif.
- b) Faktor Skala.

c) Kesalahan Siklik

Kalibrasi teodolit memeriksa:

a) Kolimasi horizontal.

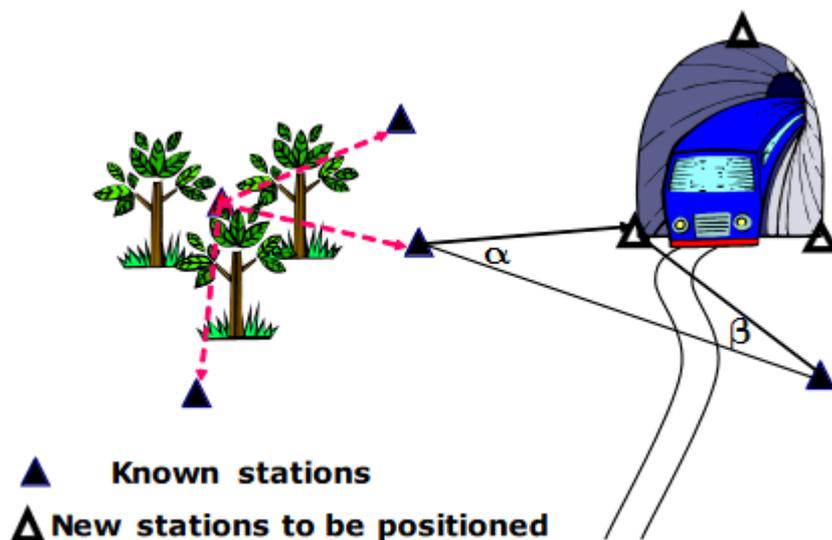
b) Kolimasi vertikal.

c) Penurunan optik.

Penyesuaian level untuk kolimasi.

- ✓ Menjaga keakuratan – peralatan yang tepat untuk pekerjaan tersebut.
- ✓ Pemeriksaan lokasi secara berkala – apa yang kurang? Periksa titik kontrol dan patok pengaturan untuk tanda-tanda pergerakan secara berkala.
- ✓ Deteksi kesalahan – pemeriksaan independen, gunakan stasiun lain. Setiap tanda survei yang ditempatkan harus diperiksa untuk kesalahan besar.
- ✓ Komunikasi di lokasi – ketahui apa yang telah dilakukan dan kapan. Insinyur atau mandor harus diberi tahu tanda apa yang telah ditempatkan dan hubungannya dengan struktur.
 - a. Diagram.
 - b. Rencana atau sketsa

Komunikasi juga memastikan semangat kerja tim yang baik selain menghilangkan kesalahpahaman yang mungkin terjadi selama pengaturan, misalnya, menggunakan rencana yang benar, dll.



Gambar 11.1 Pengaturan Keluar Terowongan

11.2 SURVEI KONTROL

Survei Kontrol dilakukan untuk menyediakan jaringan titik-titik yang terkoordinasi secara akurat sehingga surveyor dapat melakukan:

- a. Survei lokasi
- b. Penataan struktur teknik
- c. Pemantauan struktur yang ada untuk mengetahui adanya deformasi.

Karena teknik survei yang digunakan berbeda-beda, survei kontrol secara umum dibagi menjadi:

- Jaringan Kontrol Horizontal dengan akurasi lebih besar dari 1:10000, namun dapat mencapai lebih baik dari 1:15000 dengan teknik pengamatan yang tepat. Kontrol horizontal ditetapkan menggunakan metode lintasan yang dibahas dalam Bab 5.
- Jaringan kontrol vertikal dengan akurasi hingga perataan orde ketiga ($12\sqrt{Km}$ dalam mm) atau lebih baik. Bab 2 menyediakan metode dan prosedur yang diperlukan untuk menetapkan kontrol vertikal.

Pengecualian untuk ini adalah survei GPS yang menyediakan koordinat horizontal dan vertikal survei 3 dimensi yang sebenarnya. Survei kontrol selalu mencakup pengamatan yang berulang-ulang yang mengharuskan pengamatan disesuaikan menggunakan metode berikut:

1. Metode Bowditch - Nilai penyesuaian yang ditemukan oleh metode ini berbanding lurus dengan panjang garis lintasan individual.
2. Metode transit - Dengan menggunakan metode ini, penyesuaian sebanding dengan nilai ΔE dan ΔN untuk berbagai garis.
3. Penyesuaian yang sama - Digunakan untuk lintasan EDM, di mana distribusi kesalahan yang sama dapat diterima dengan menyesuaikan setiap jarak yang diukur dengan orde besaran yang sama.
4. Penyesuaian kuadrat terkecil - Ini adalah bentuk penyesuaian jaringan kontrol yang lebih disukai dan diterima secara umum. Keunggulan utamanya dibandingkan metode lain adalah:
 - ✓ Mempertimbangkan kualitas sudut dan jarak yang berbeda.
 - ✓ Penyesuaian kuadrat terkecil akan menghasilkan solusi yang unik.
 - ✓ Membuat jumlah kuadrat koreksi (residual) menjadi minimum. Kerugian utama dari Penyesuaian Kuadrat Terkecil adalah tidak dapat dilakukan dengan metode perhitungan manual. Anda memerlukan:
 - o Akses ke komputer.
 - o Program Kuadrat Terkecil.

11.3 MELAKSANAKAN PROYEK KONSTRUKSI TEKNIK

Personel yang terlibat

Dalam setiap proyek konstruksi teknik, keterlibatan orang-orang secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kategori:

1. Klien atau Pengembang – Menyediakan dana dan dorongan untuk pembangunan.
2. Insinyur Proyek – Menyediakan keahlian profesional dan bertanggung jawab atas:
 - a) Rencana dan spesifikasi untuk proyek.
 - b) Pemberian kontrak untuk berbagai tahap konstruksi.
 - c) Manajemen konstruksi secara keseluruhan.

Insinyur Proyek akan menggunakan jasa Surveyor untuk:

- ✓ Melaksanakan survei lokasi yang diperlukan untuk tahap desain proyek.
- ✓ Menyediakan kontrol awal proyek.

- ✓ Melaksanakan survei pemeriksaan struktur atau pengaturan survei selama pembangunan.
3. Kontraktor – melaksanakan pembangunan proyek yang sebenarnya. Untuk proyek yang sangat besar, mungkin ada sejumlah kontraktor yang berbeda untuk berbagai tahap pembangunan.
- Kontraktor menggunakan jasa surveyor untuk:
- ✓ Memberikan kontrol survei tambahan sebagaimana diperlukan.
 - ✓ Melaksanakan survei tata letak yang diperlukan untuk konstruksi.

Pencatatan dan Pengarsipan Informasi

Catatan lapangan merupakan aspek yang sangat penting dari survei teknik. Catatan lapangan:

- a) Memberikan bukti dokumenter tentang pekerjaan yang dilakukan dan dimensi yang digunakan.
- b) Jika timbul masalah selama konstruksi, catatan lapangan dapat digunakan (di pengadilan) untuk membuktikan atau memverifikasi lokasi tanda survei yang benar.
- c) Memungkinkan pekerjaan diperiksa di kemudian hari di kantor.
- d) Memungkinkan surveyor lain untuk melaksanakan pekerjaan di lokasi menggunakan tanda yang telah ditetapkan sebelumnya.
- e) Memungkinkan juru gambar untuk menyusun rencana yang menunjukkan lokasi tanda survei dan hubungannya dengan struktur yang sedang dibangun.

Catatan lapangan harus ditulis untuk menunjukkan semua pekerjaan survei yang dilakukan pada suatu proyek. Catatan tersebut harus mencakup:

- a) Tanggal, referensi rencana, dan tanggal amandemen rencana yang digunakan untuk tata letak.
- b) Diagram yang jelas tentang survei yang dilakukan dan semua pengukuran lapangan yang diamati.
- c) Lokasi semua tanda survei yang ditempatkan selama survei dan pemeriksaan yang dilakukan.
- d) Referensi ke data elektronik apa pun yang digunakan atau disimpan. Referensi tersebut harus mencakup nama berkas yang digunakan dan tempat penyimpanan atau pencadangannya.
- e) Semua catatan lapangan harus dirujuk silang dalam berkas pekerjaan/lembar ringkasan untuk proyek tersebut.

Rencana

Selama berlangsungnya proyek, surveyor akan membuat atau menggunakan sejumlah rencana dan diagram dari survei yang dilakukan di lapangan. Ini dapat diringkas sebagai berikut:

- Rencana lokasi survei awal. Jenis rencana ini umumnya akan menunjukkan:
 - ✓ Semua bangunan yang ada di lokasi dan yang berbatasan langsung dengan lokasi.
 - ✓ Ketinggian dan kontur lokasi.

- ✓ Lokasi semua layanan dan ketinggian terbalik ke saluran pembuangan air limbah dan drainase.
- ✓ Informasi lain yang diminta oleh manajer proyek.
- Rencana kontrol survei yang menunjukkan lokasi:
 - ✓ Kontrol horizontal dan daftar koordinat
 - ✓ Kontrol vertikal dan RL.
 - ✓ Rencana desain teknik. Rencana proyek dibuat setelah desain proyek diselesaikan dan menggabungkan informasi yang diberikan dari survei lokasi awal. Rencana desain digunakan oleh kontraktor dan surveyor untuk menetapkan konstruksi untuk proyek teknik.

CATATAN: Desain proyek dapat berubah selama fase konstruksi. Surveyor selalu bertanggung jawab untuk memastikan bahwa ia menggunakan rencana terbaru yang tersedia.

1. Rencana konstruksi akan mencantumkan tanggal setiap amandemen yang telah dilakukan pada desain.
2. Sebelum pekerjaan penataan dimulai, tanggal amandemen pada rencana surveyor harus selalu diperiksa dengan rencana mandor lokasi atau insinyur lokasi untuk memastikan bahwa ia memiliki informasi terkini yang tersedia.
- Rencana Penataan. Sesegera mungkin, surveyor harus memberikan sketsa atau rencana kepada mandor lokasi atau insinyur lokasi yang menunjukkan:
 1. Semua tanda survei yang ditempatkan selama survei konstruksi.
 2. Hubungan tanda penataan dengan struktur aktual.
 3. Catatan pekerjaan yang dilakukan selama konstruksi teknik.

Harus diingat bahwa salah satu kesalahan paling umum di lokasi konstruksi terkait dengan kesalahpahaman lokasi tanda penataan survei dalam kaitannya dengan struktur.

Metode dan Prosedur Penataan

Keakuratan penataan: Keakuratan pekerjaan survei yang dilakukan untuk proyek konstruksi akan bergantung pada spesifikasi proyek. Spesifikasi ini akan bervariasi dari satu proyek ke proyek lainnya, dan bergantung pada presisi yang dibutuhkan untuk konstruksi. Keakuratan survei kontrol untuk lokasi konstruksi adalah:

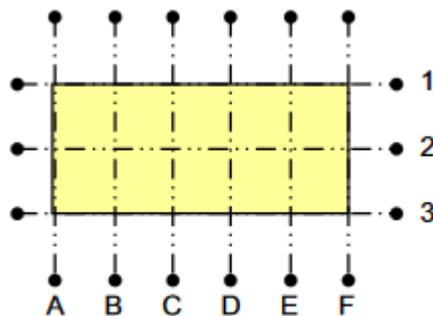
- a) Lebih akurat daripada spesifikasi konstruksi.
- b) Bergantung pada peralatan dan prosedur pengamatan yang digunakan.

Prosedur dan Metode: Selama berlangsungnya proyek, surveyor umumnya akan menetapkan jaringan kontrol horizontal awal dan kemudian menambahkan titik kontrol tambahan sebagaimana diperlukan. Kontrol awal umumnya dilakukan dengan lintasan kontrol yang berupa tautan atau tertutup (lihat Bab 5). Berikut ini, kami menyajikan metode untuk menetapkan (i) kontrol horizontal, dan (ii) struktur teknik. Tahapan dalam Penetapan: Kontrol horizontal: Secara umum, survei pendahuluan akan dilakukan terlebih dahulu. Dalam hal ini,

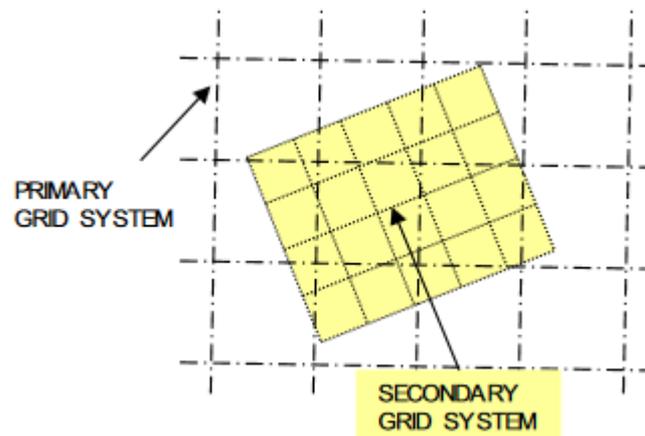
- Periksa desain apa yang dapat ditetapkan dan dari mana?
- Lakukan pengintaian – di lokasi dan berdekatan dengan lokasi; apakah dilindungi atau tidak dilindungi?
- Survei stasiun apakah bersifat sementara atau permanen?

- Periksa Patokan Apakah ada TBM, BM Negara Bagian, atau BM lokasi?
- Kumpulkan dan pelajari rencana survei lokasi, baik kadaster maupun topografi:

Sistem Koordinat: Untuk proyek teknik besar, sistem grid umumnya digunakan. Grid ini dapat didasarkan pada (i) sistem koordinat nasional, misalnya, koordinat Map Grid of Australia (MGA) untuk Australia, yang umumnya digunakan untuk proyek yang mencakup area yang sangat luas, (ii) grid sembarang biasanya dirancang agar sejajar dengan struktur dan disebut sebagai 'SITE GRID' (Gambar 11.2), dan (iii) grid sekunder – grid yang dibuat di dalam struktur. Jenis grid ini umumnya dibuat sejajar dengan struktur itu sendiri untuk memudahkan konstruksi.



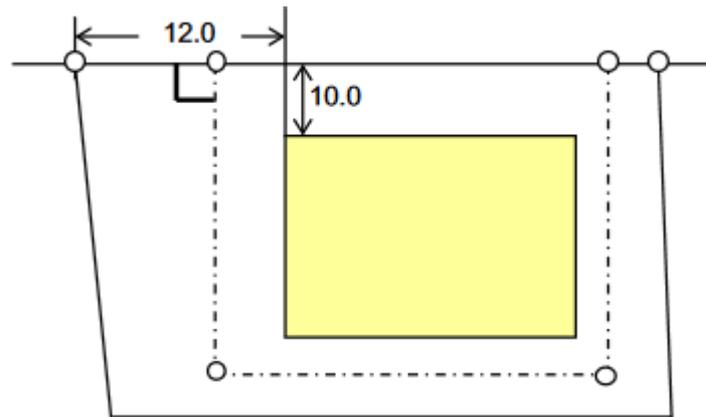
Gambar 11.2 Kisi-Kisi Lokasi Diatur Sejajar Dengan Struktur Konstruksi



Gambar 11.3 Rangkaian Kisi Sekunder Sejajar Dengan Struktur Yang Sedang Dibangun

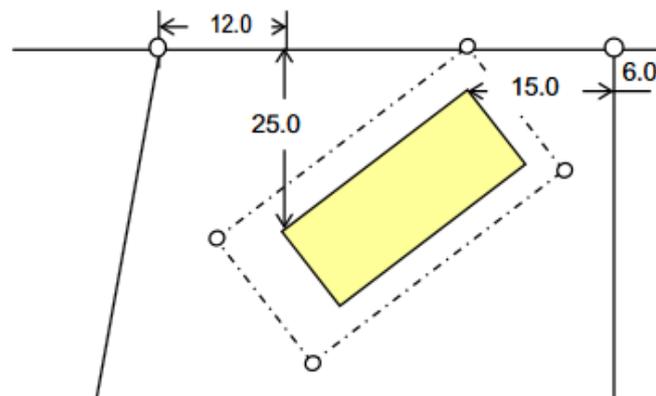
Dalam kasus bangunan atau struktur kecil, pengendalian ditetapkan dengan cara berikut:

- Sejajar dengan satu batas kadaster - Dalam kasus ini, tanda batas digunakan sebagai garis dasar pengendalian horizontal.



Gambar 11.4 Seजार Dengan Titik Batas Kadaster

- Terkait dengan batas kadaster (Gambar 11.5).

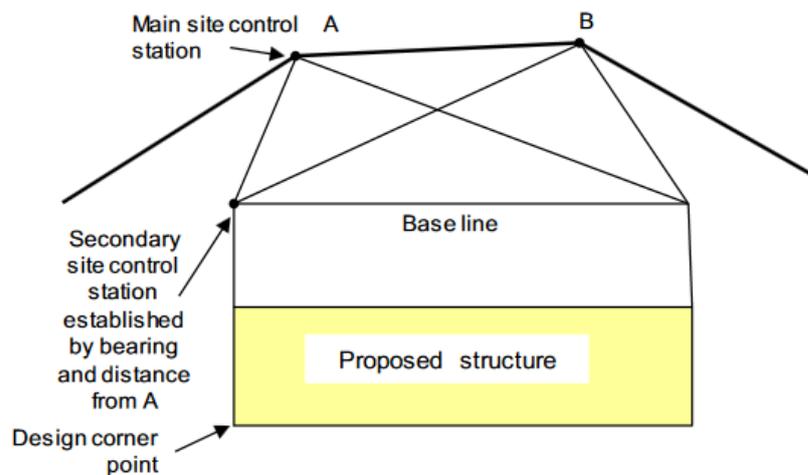


Gambar 11.5 Kontrol Terkait Dengan Batas Kadaster

Kontrol horizontal HARUS dibawa mendekati fitur yang akan ditetapkan. Pada Gambar 11.1, Anda akan melihat bahwa kontrol horizontal telah dibawa mendekati terowongan yang akan ditetapkan. Secara umum, prinsip kerja dari keseluruhan ke bagian diikuti. Biasanya, bagian luar (lintasan tertutup) ditetapkan dengan pengukuran jarak dan arah. Kontrol tersebut kemudian digunakan untuk menyiapkan stasiun lokasi yang selanjutnya digunakan untuk menyiapkan kisi-kisi yang berbeda:

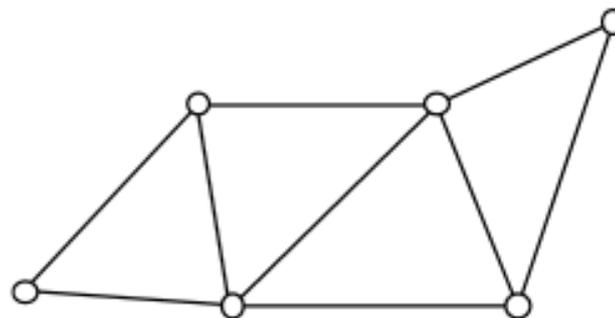
- a) Kisi survei: Biasanya terkait dengan pemetaan di area tersebut.
- b) Kisi lokasi: Biasanya terkait dengan kisi survei di beberapa titik di lokasi, tetapi jarak ditetapkan menjadi benar untuk lokasi tersebut.
- c) Kisi struktur: dapat bervariasi antara bagian konstruksi besar, yaitu, dalam skala atau arah (transformasi matematis).
- d) Kisi sekunder: ditetapkan dalam struktur.

Tanda referensi dengan ketinggian yang diketahui diperlukan dan metode yang akurat harus diadopsi.



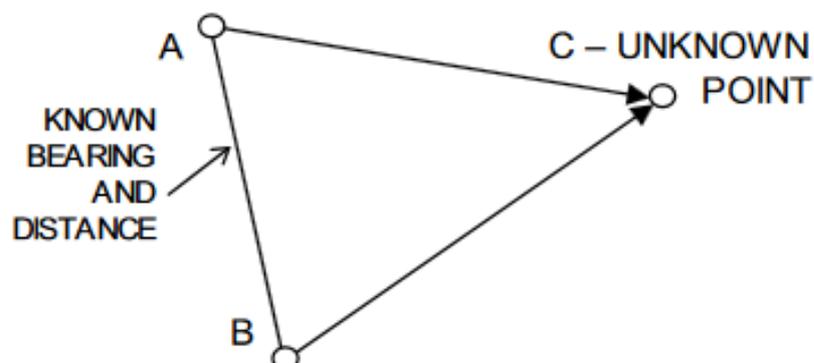
Gambar 11.6 Penggunaan Kontrol Horizontal Dalam Menetapkan Struktur Yang Diusulkan Metode untuk menetapkan kontrol horizontal.

- Metode traverse yang dibahas dalam Bab 5. Ini meliputi jaringan segi empat atau segitiga yang terhubung, tertutup, dan terikat jenis jaringan ini digunakan dalam situasi yang memerlukan kontrol akurasi tinggi orde ke-2 atau lebih baik.



Gambar 11.7 Jaringan Segitiga

- Persimpangan adalah pengukuran jarak atau sudut dari dua titik yang diketahui ke titik ketiga.



Gambar 11.8 Perpotongan Titik C Yang Tidak Diketahui Dengan Titik A Dan B Yang Diketahui

Contoh: Diberikan koordinat titik kontrol di lokasi tambang terbuka sebagai A (892.387E(m), 907.800N(m)) dan B (1194.656E(m), 955.662(m)), dengan hanya sudut yang diukur dari titik A

dan B ke titik C yang tidak diketahui sebagai $\alpha=9^{\circ}47' 47''$ dan $\beta=8^{\circ} 42' 58''$, tentukan lokasi stasiun C tanpa menempatnya. Dua rumus dapat digunakan berdasarkan sudut atau bearing sebagai berikut:

Using Angles:

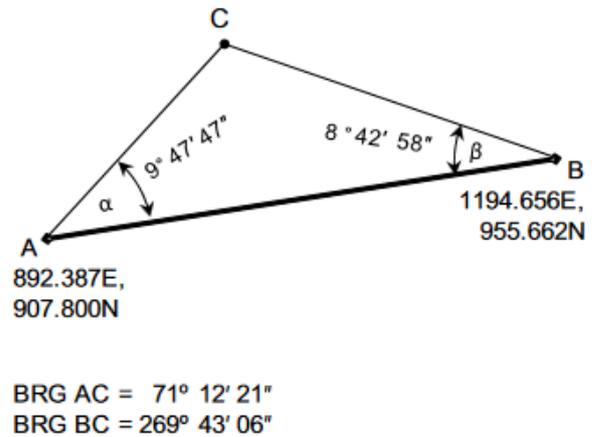
$$E_c = \frac{\{(N_B - N_A) + E_A \cot(\beta) + E_B \cot(\alpha)\}}{\cot(\alpha) + \cot(\beta)}$$

$$N_c = \frac{\{(E_A - E_B) + N_A \cot(\beta) + N_B \cot(\alpha)\}}{\cot(\alpha) + \cot(\beta)}$$

Using Bearings:

$$E_c = \frac{\{E_A \cot(\theta_{AC}) - E_B \cot(\theta_{BC}) - (N_A - N_B)\}}{\cot(\theta_{AC}) - \cot(\theta_{BC})}$$

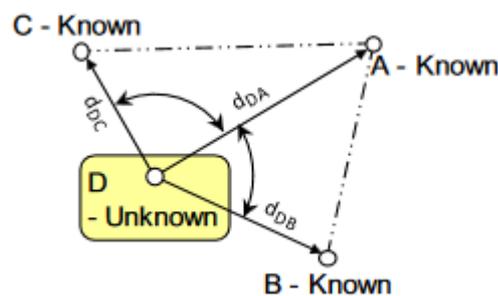
$$N_c = \frac{\{N_A \tan(\theta_{AC}) - N_B \tan(\theta_{BC}) - (E_A - E_B)\}}{\tan(\theta_{AC}) - \tan(\theta_{BC})}$$



Gambar 11.9 Persimpangan Berdasarkan Sudut Atau Bantalan

Menggunakan salah satu pengukuran mengarah ke posisi C berikut: Metode sudut: $E_c=1038.434m$, $N_c=905.764m$ dan Metode arah: $E_c=1038.436m$, $N_c=905.764m$.

- Reseksi adalah pengukuran sudut atau jarak dari titik yang tidak diketahui (D) ke tiga atau lebih titik yang diketahui (A, B, C) pada Gambar 11.10.



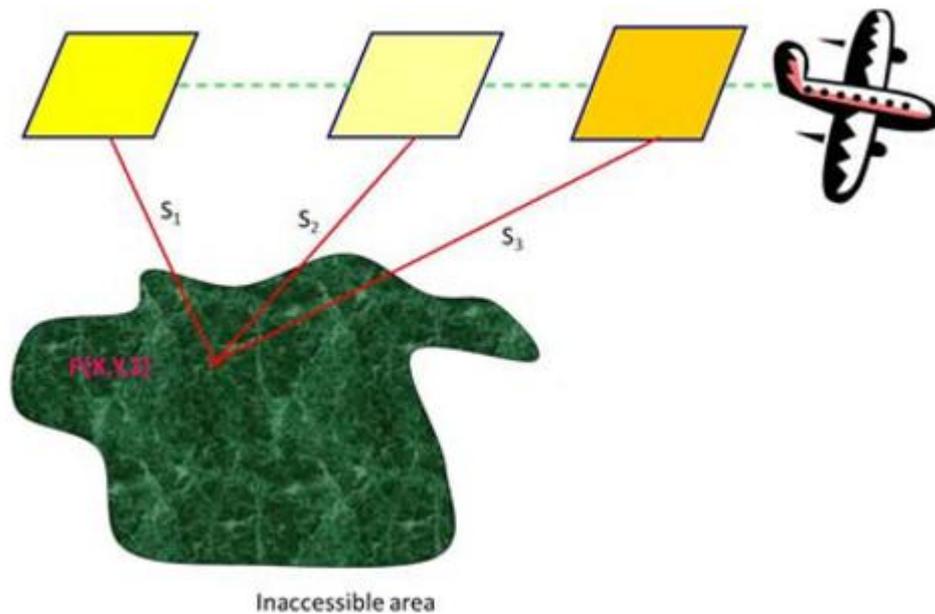
Gambar 11.10 Reseksi Dari Titik D Yang Tidak Diketahui Ke Titik A, B, C Yang Diketahui

- Pengukuran Sudut Dilakukan Untuk daerah yang tidak dapat diakses, metode fotogrametri

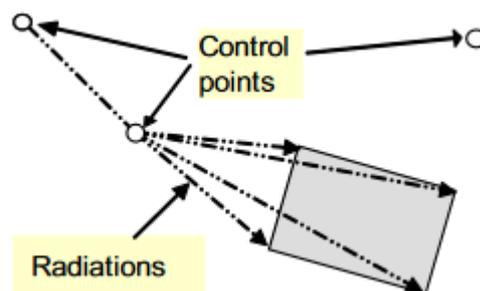
Metode untuk menetapkan struktur teknik. Titik-titik penetapan untuk struktur dapat dilakukan dengan:

- ✓ Metode garis dasar ,Metode ini melibatkan penetapan garis dasar yang sejajar dengan struktur. Ini khususnya efektif jika sistem kisi horizontal telah ditetapkan sebagai bagian dari kontrol (lihat Gambar 11.4). Keuntungan sistem ini adalah (i) dimensi dibaca langsung dari denah, tidak ada perhitungan, (ii) hanya memerlukan perhitungan sederhana, dan (iii) hanya menggunakan 90° (yaitu, offset tegak lurus dari garis dasar).

- ✓ Radiasi dari suatu titik (Gambar 11.12) Keuntungan utama metode ini adalah sangat cepat di lapangan. Kerugian utamanya adalah (i) mungkin melibatkan perhitungan koordinat, (ii) penetapan harus diperiksa dari lokasi yang berbeda, dan (iii) kesalahan orientasi sulit diperiksa kecuali sudut/arah dibaca ke titik kontrol ketiga.



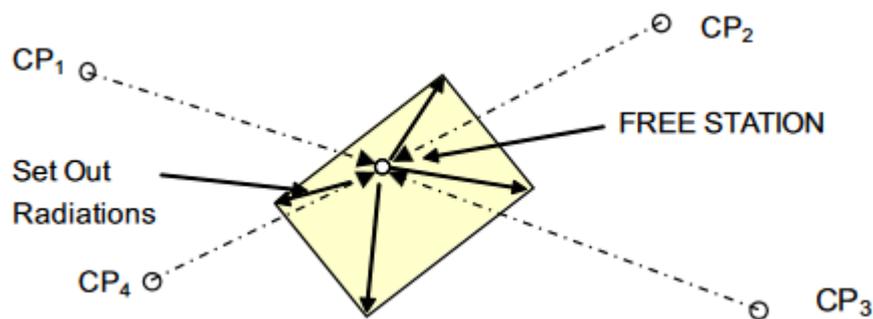
Gambar 11.11 Posisi Fotogrametri Area Yang Tidak Dapat Diakses (Awang Dan Grafarend 2005)



Gambar 11.12 Pengaturan Struktur Rekayasa Dengan Metode Radiasi

- Radiasi dari titik yang direseksi, Metode ini merupakan variasi dari metode titik radiasi. Alih-alih melakukan pengaturan pada titik kontrol yang diketahui. Metode ini melibatkan:
 - ✓ Instrumen diatur di lokasi yang nyaman di lokasi tersebut.
 - ✓ Reseksi dilakukan ke titik kontrol di sekitarnya.
 - ✓ Koordinat instrumen (Free Station) dihitung menggunakan perangkat lunak Total Station atau program komputer (kalkulator).
 - ✓ Koordinat untuk titik konstruksi yang akan ditetapkan dihitung dan digunakan untuk menghitung bearing dan jarak dari stasiun instrumen.

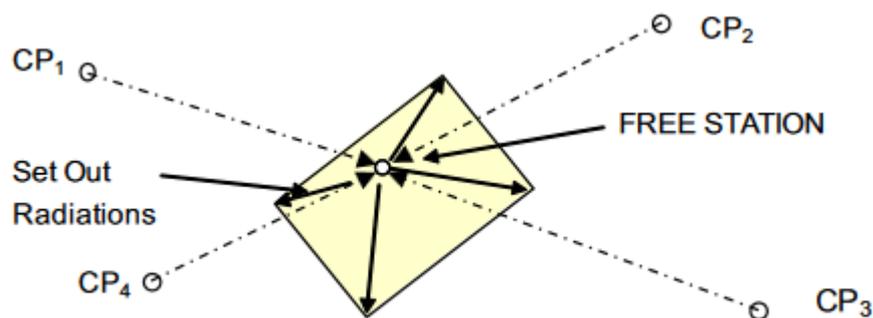
- ✓ Langkah terakhir harus melibatkan pemeriksaan pekerjaan Anda. Ini harus melibatkan:
 - (i) Pemeriksaan jarak antara setiap titik yang ditetapkan
 - (ii) Reseksi dan radiasi baru ke titik-titik yang ditetapkan.
- ✓ Kerugian utama menggunakan metode Reseksi adalah:
 - ❖ Mungkin melibatkan perhitungan koordinat untuk titik-titik yang ditetapkan.
 - ❖ Set out harus diperiksa dari lokasi yang berbeda.
 - ❖ Reseksi harus dilakukan pada tiga atau lebih titik kontrol, di mana jarak dan sudut dibaca (perlu redundansi untuk memastikan kesalahan besar terdeteksi).
 - ❖ Perlu perangkat lunak reseksi pada Total Station atau kalkulator.



Gambar 11.13 Dimulai Dari Titik Yang Telah Direseksi

Tahapan dalam Penataan: Kontrol Vertikal. Transfer ketinggian dari BM negara bagian ke lokasi. Ini membantu dalam menentukan

- ✓ Drainase, jalan, dan tingkat layanan.
- ✓ Menetapkan ketinggian pada pelat bangunan (Gambar 11.14). Tongkat ditempatkan pada titik acuan dan ketinggian terbaca 3,173 m. Selanjutnya ketinggian dipindahkan ke pelat dan pembacaan 1,74 m dibaca untuk menetapkan tingkat pelat yang dikurangi pada 16,5 m
- ✓ Kontrol dari lantai ke lantai. Ini termasuk perpipaian vertikal, ketebalan beton, tata letak pilar dan lift, dll.



Gambar 11.14 Menentukan Tinggi Pelat

Untuk kontrol vertikal, penting untuk:

- ✓ Pastikan bahwa ada sejumlah titik yang memadai di lokasi.
- ✓ Pastikan bahwa patok acuan kokoh dan terlindungi dengan baik.

Keakuratan yang terkait dengan perataan di lokasi secara umum dapat diberikan sebagai:

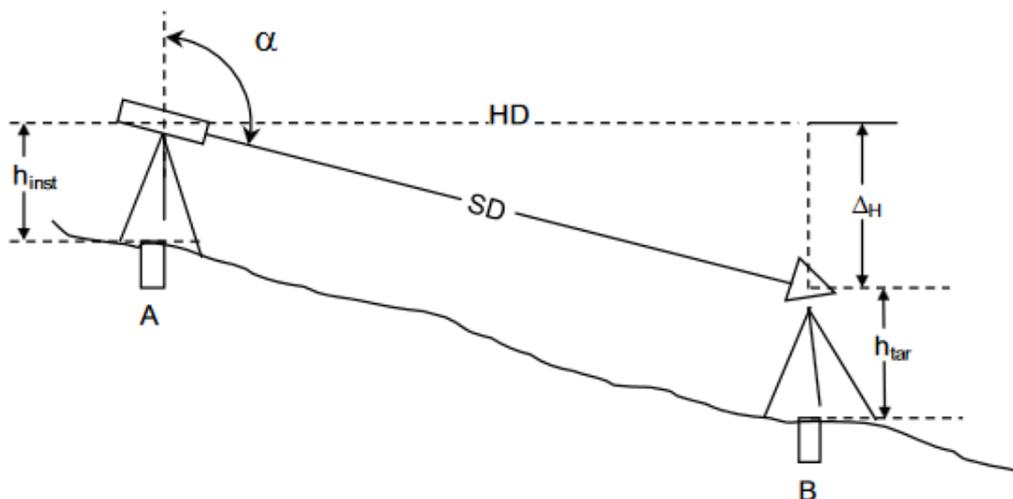
- Untuk permukaan lunak $\pm 0,010$ m.
- Untuk permukaan keras $0,005$ m.
- Untuk level pada pasak atau struktur biasanya diberikan oleh spesifikasi Proyek.

CATATAN: Saat menyediakan level di lokasi, selalu penting untuk memastikan bahwa Anda menggunakan setidaknya dua BM di lintasan perataan Anda. Ini memastikan bahwa:

- ✓ BM tidak terganggu.
- ✓ Ditemukan kesalahan transkripsi RL

Kontrol vertikal di lokasi konstruksi dapat disediakan oleh:

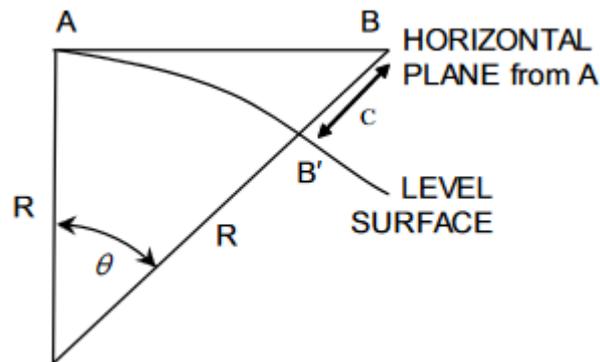
- 1) Perataan dengan spirit (Bab 2). Teknik ini umumnya digunakan di mana akurasi tinggi diperlukan di area yang relatif kecil. Akurasi yang diterima secara umum untuk kontrol vertikal di sebagian besar lokasi proyek adalah perataan orde ketiga – $12\sqrt{km}$ diberikan dalam mm.
- 2) Pengukuran ketinggian trigonometri (lihat Bab 6 untuk rinciannya). Teodolit dapat digunakan untuk mengukur perbedaan ketinggian antara dua titik (Gambar 11.15). Metode ini disebut pengukuran ketinggian trigonometri dan untuk jarak pendek kurang dari 200 hingga 300 m, metode ini akan memberikan jawaban yang cukup akurat. Metode ini umumnya cenderung digunakan dalam situasi berikut:
 - ❖ Kontrol vertikal dengan akurasi tinggi tidak diperlukan – orde ke-4 atau kurang.
 - ❖ Sulit atau tidak mungkin untuk melakukan survei pengukuran ketinggian dengan spirit leveling karena hambatan fisik – badan air yang besar, bukit, lembah, dll.
 - ❖ Kontrol vertikal diperlukan untuk jarak yang jauh.
 - ❖ Hal ini mungkin terjadi di daerah terpencil di negara bagian tersebut.
 - ❖ Kontrol vertikal yang ada di daerah tersebut adalah dengan pengukuran ketinggian trigonometri.



Gambar 11.15 Ketinggian Trigonometri Untuk Penataan

Ada beberapa koreksi yang terkait dengan Peninggian Trigonometri yang harus diterapkan pada jarak yang jauh. Yang utama adalah:

- 1) Kelengkungan Bumi pada jarak yang jauh harus dikoreksi: Titik A dan B, pada Gambar 11.12, berada pada level relatif yang sama. Rumus perkiraan untuk kelengkungan (C) adalah $C \text{ (meter)} = 0,0784K^2 - K$ dalam kilometer.



Gambar 11.16 Koreksi Kelengkungan

- 2) Refraksi vertikal (Gambar. 11.15): Kesalahan terjadi karena pembelokan sinar cahaya saat melewati perubahan kerapatan udara – refraksi. Koreksi kesalahan sudut disebut sebagai koefisien refraksi (k) dan bervariasi secara signifikan selama periode 24 jam. Dalam jarak yang jauh, refraksi dan kelengkungan Bumi dapat dihilangkan dengan mengambil tinggi trigonometri yang simultan atau tinggi trigonometri yang hampir simultan dan merata-ratakan kedua perbedaan dalam RL.

Keakuratan tinggi trigonometri merupakan fungsi dari:

- ✓ Keakuratan instrumen – sudut vertikal
- ✓ Keakuratan pengukuran tinggi instrumen di atas stasiun.
- ✓ Keakuratan pengukuran tinggi target di atas stasiun.
- ✓ Efek refraksi.

Dari keempat kesalahan yang tercantum di atas, kesalahan refraksi cenderung menjadi yang terbesar dan paling tidak dapat diukur.

Ringkasan

Meskipun dalam karier profesional Anda sebagai insinyur sipil dan pertambangan, Anda mungkin bukan orang yang melaksanakan survei untuk menetapkan struktur, tugas yang biasanya dilakukan oleh surveyor di dalam perusahaan, pengetahuan dan pemahaman tentang apa yang mereka lakukan sangatlah penting. Hal ini karena tanggung jawab keseluruhan untuk mengawasi konstruksi dapat sepenuhnya berada di tangan Anda dan karenanya perlu memahami jenis kontrol yang digunakan, data yang dikumpulkan bersama dengan keakuratannya, dan bagaimana kontrol tersebut digunakan untuk mewujudkan penetapan struktur. Jadilah insinyur sipil dan pertambangan yang aktif yang dapat secara

teratur mengunjungi lokasi untuk inspeksi dan ingatlah bahwa penetapan yang berhasil merupakan fungsi dari "Praktik Survei yang Baik". Hal ini dapat diringkas sebagai berikut:

- ✓ Simpan catatan yang jelas dan akurat (Catatan lapangan + informasi elektronik).
- ✓ Terapkan sistem pengarsipan yang logis untuk semua informasi yang terkait dengan pekerjaan.
- ✓ Rawat semua instrumen survei, kalibrasi, dan servis secara teratur.
- ✓ Pahami lokasi konstruksi.
- ✓ Periksa semua rencana dan gambar untuk mengetahui tanggal dan amandemen desain terbaru.
- ✓ Tempatkan semua titik kontrol di lokasi yang aman dan lindungi dari kerusakan yang tidak disengaja.
- ✓ Periksa lokasi secara teratur. Pastikan patok dipasang dan titik kontrol tidak terbentur atau dipindahkan.
- ✓ Rencanakan jadwal pemasangan agar sesuai dengan program konstruksi.
- ✓ Bekerja untuk mensurvei spesifikasi proyek.
- ✓ Pertahankan keakuratan yang diperlukan setiap saat.
- ✓ Periksa semua pekerjaan lapangan dengan metode independen.
- ✓ Komunikasikan hasil kepada kontraktor – catatan dan rencana.

BAB 12

TRANSFORMASI KOORDINAT DAN SOLUSI KUADRAT TERKECIL

12.1 PENDAHULUAN

Transformasi koordinat memainkan peran penting dalam teknik sipil dan operasi pertambangan, misalnya, di mana koordinat yang diperoleh dalam sistem GNSS yang dibahas dalam Bab 10 perlu diubah menjadi sistem lokal, misalnya, sistem jaringan tambang lokal. Bab ini menawarkan dasar-dasar transformasi koordinat dari satu sistem ke sistem lain dan menyediakan dasar-dasar solusi kuadrat terkecil, metode yang digunakan untuk transformasi tersebut. Masalah transformasi koordinat dari satu sistem ke sistem lain bergantung pada sejumlah faktor; sistem koordinat dan datum, orientasi, area (ukuran), tujuan dan persyaratan akurasi. Parameter dan metode transformasi juga bergantung pada "akurasi" pengamatan awal. Transformasi koordinat bergantung pada sejumlah titik yang diketahui di kedua sistem koordinat. Dan mereka bergantung pada akurasi pengamatan yang dengannya setiap sistem telah diamati dan dihitung. Penting untuk diingat bahwa, untuk tujuan diskusi ini, transformasi adalah dari satu set koordinat bidang ke yang lain. Transformasi koordinat bidang ke koordinat geografis, lintang dan bujur, bergantung pada datum, "bentuk bumi" yang dipilih dan proyeksi, metode dan rumus matematika, dari transformasi.

12.2 DEFINISI

Datum digunakan untuk menggambarkan, untuk wilayah tertentu atau seluruh bumi, serangkaian parameter sederhana yang paling tepat untuk menentukan lokasi suatu titik di permukaan bumi. Dalam penggunaan datum, sekali lagi, tujuan penggunaannya harus diperiksa. Posisi di bumi juga ditentukan oleh parameter temporal yang menggambarkan rotasi bumi di ruang angkasa. Lokasi dapat dijelaskan, dalam urutan kompleksitas, sebagai:

1. Bidang, "bumi datar", diukur dalam satuan linier, dengan radius tak terbatas,
2. Bulat, "bumi bundar", dengan radius tunggal, dan
3. Elips, bumi elipsoidal atau "bulat", dengan dua jari-jari; sumbu semi mayor dan minor.

Proyeksi adalah seperangkat parameter matematika yang digunakan untuk pada dasarnya mengubah posisi titik di bumi menjadi bidang. Proyeksi inilah yang memungkinkan kita untuk menggambarkan bumi pada peta dengan skala dan penggunaan yang bervariasi. Sekali lagi, dalam urutan kompleksitas, kami biasanya menggunakan:

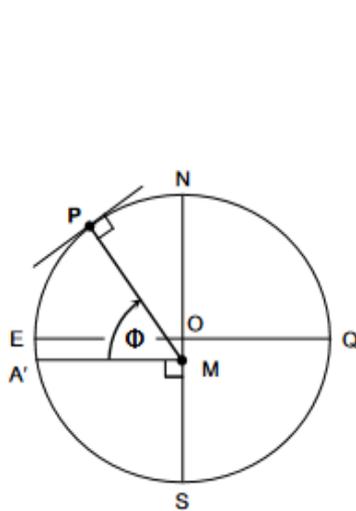
1. Bidang singgung, pemetaan dari satu titik ke luar ke semua titik lainnya
Bidang, stereografik, ortografik,
2. Silinder, membungkus bumi dalam silinder, baik di sekitar ekuator atau meridian (di atas kutub),
Mercator, Mercator Transversal
3. Kerucut, menempatkan kerucut di atas kutub sehingga kerucut tersebut bersinggungan dengan bumi pada garis lintang paralel,

Lamberts Conic Conformal (paralel tunggal, atau World Aeronautic Chart 1:1.000.000 dengan dua paralel).

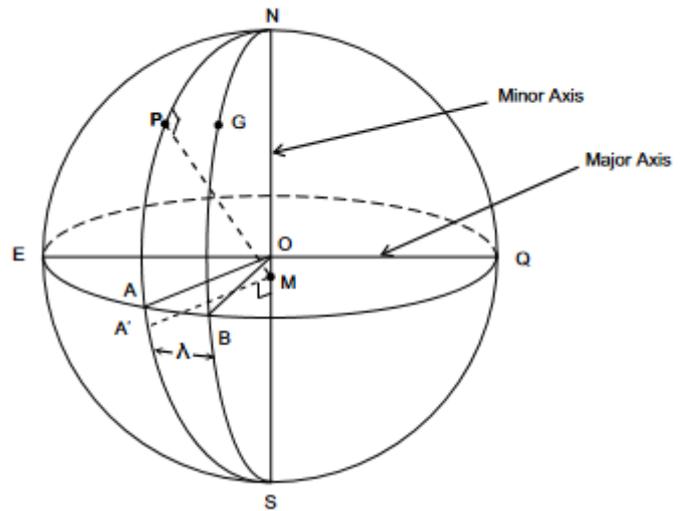
Bumi bulat. Hingga diperkenalkannya geodesi, studi tentang bentuk bumi, pada abad ke-19 pendapat yang tercerahkan dari para pembuat peta (kartografer) adalah bahwa bumi itu "bulat". Bola itu berbentuk bola dengan sumbu putar melalui kutub, kutub Utara dan Selatan, dan ekuator tegak lurus terhadap sumbu kutub pada radius maksimum. Bagian yang sulit adalah menentukan radiusnya. Posisi di bumi ditentukan oleh pengamatan yang semakin akurat terhadap bintang, planet, Bulan, dan Matahari. Gambar 12.1 mengilustrasikan bumi elips. Untuk bumi yang bulat, titik M bergerak ke O sehingga $OE = ON = OP = \text{radius}$.

Ekspresi yang digunakan untuk menggambarkan posisi di bumi adalah (lihat Gambar 12.2): Garis lintang, jarak sudut, $A'MP$, dari garis sejajar ekuator, EQ, ke posisi, P. Garis lintang adalah lingkaran kecil yang tegak lurus dengan sumbu kutub, NOS; Garis bujur, jarak sudut, AOB, antara meridian referensi, NGBS, dan meridian melalui titik, NPAS (Gambar 12.2).

Meridian adalah lingkaran besar yang tegak lurus dengan ekuator melalui kutub (lingkaran besar). Ketinggian, elevasi di atas (atau di bawah) jari-jari bumi. Karena sebagian besar bumi ditutupi air, dataran tinggi alami adalah "permukaan laut", jari-jari bumi yang dinyatakan, Permukaan laut adalah rata-rata jangka panjang pengamatan permukaan laut terhadap daratan. Pengukuran posisi: Garis lintang, "garis lintang tempat adalah elevasi kutub". Kutub (Utara atau Selatan) memiliki deklinasi 90° dari ekuator. Dengan mengukur elevasi ke benda langit dengan deklinasi yang diketahui, garis lintang dapat dihitung. Latihan yang cukup sederhana. Garis bujur adalah jarak sudut antara meridian referensi dan titik. Latihan dalam waktu (yang rumit). Meridian referensi meliputi Ferro (dari abad ke-2 M tepi barat Dunia Lama), Paris (20°E Ferro, $2^\circ 20' 20''\text{E}$ Greenwich), Greenwich (teleskop transit Airey, 1844) dan sekarang Meridian Referensi IERS (IRM) sekitar 102m di timur Greenwich. Ketinggian. Permukaan laut, dan permukaan ekuipotensial (gravitasi yang sama) yang sesuai di bawah daratan, dinyatakan oleh Australian Height Datum (AHD09), Earth Gravitational Model (EGM1996). Ingat Bagian 2.2 dan 2.3, yang membahas AHD. Cepat dan mudah di bumi yang bulat. Banyak masalah navigasi, di darat, laut, dan udara, dapat dipecahkan dengan tingkat akurasi yang memuaskan menggunakan trigonometri bola sederhana dan radius rata-rata bumi di titik tengah garis, atau definisi "1 menit busur lintang = 1 mil laut". Mil laut telah didefinisikan secara beragam sebagai: 1) 6080 kaki (1853,2 m), berdasarkan bola Clarke (1866) dan 2) 1852 m (Konferensi Hidrografi Luar Biasa Internasional Pertama, Monako (1929). Ini menyiratkan radius sekitar 3.437,7 nm atau 6.366.707 m. Segitiga bola dibentuk oleh perpotongan tiga lingkaran besar pada bola. Penyelesaian segitiga bola melibatkan panjang busur setiap sisi dan sudut di antara keduanya. Jumlah dari 3 sudut lebih besar dari 180° oleh "kelebihan bola", angka yang cukup kecil dalam navigasi, dan diabaikan kecuali untuk menghitung luas segitiga.



Gambar 12.1 Bumi Elips



Gambar 12.2 Posisi Di Bumi

Penanganan trigonometri bola yang paling mudah ditemukan di Mackie, 1978. Hasil perhitungan, dibandingkan dengan jarak "sebenarnya" di atas bumi elipsoidal, memiliki akurasi yang cukup untuk memungkinkan perencanaan penerbangan dan pelayaran, terutama dengan mempertimbangkan keanehan angin dan gelombang. Rata-rata dan rumit di bumi elipsoidal. Perhitungan geodetik pada elipsoid berada di luar cakupan dokumen ini. Konversi antara posisi pada elipsoid, dan masalah langsung dalam menghasilkan posisi dari azimuth dan jarak elipsoidal ditangani secara memadai oleh rumus Invers Vincenty dan rumus Langsung Vincenty. Metode ini menggantikan metode Robbin dan Robbin's Reverse yang digunakan sebelumnya.

12.3 METODE TRANSFORMASI

Metode yang dibahas di sini ada dua jenis:

1. Pergeseran blok atau datum,
2. Transformasi konformal.

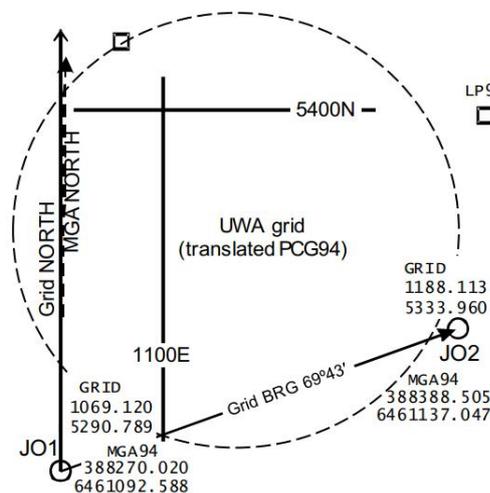
Pergeseran blok

Transformasi antara beberapa sistem koordinat lokal dan sistem nasional dari parameter transformasi akurasi rendah. Yang kami maksud dengan ini adalah mengubah koordinat GPS genggam menjadi sistem grid lokal untuk menggabungkan data UTM yang dikumpulkan dalam peta lokal. Atau mengubah koordinat lokal menjadi UTM untuk memungkinkan pemulihan titik oleh GPS. GPS genggam biasanya dapat mengumpulkan data pada tingkat akurasi 3-5m. Dengan menggunakan datanya, bahkan pada set koordinat yang paling akurat, transformasi yang dihasilkan tidak dapat diharapkan lebih baik daripada akurasi GPS dasar. Pergeseran datum adalah alat yang ampuh dalam komputasi dan, untuk tujuan pengajaran, digunakan pada realisasi grid UWA, yang didasarkan pada Grid Pesisir Perth. Teknik yang sama diterapkan pada koordinat *Map Grid of Australia* (MGA94) untuk tujuan komputasi. Misalnya, koordinat GNSS dari titik-titik yang diketahui dalam contoh grid UWA

dan juga dalam MGA94. Menemukan pergeseran arah Timur dan Utara di antara keduanya adalah hal yang mudah. Grid UWA diterjemahkan dari *Grid Pesisir Perth* (PCG94).

- JO1 UWA grid MGA94 Shift
- E: 1069.120 388270.020 dE = 387200.9
- N: 5290.789 6461092.588 dN = 6455801.8
- JO2 UWA grid MGA94 Shift
- E: 1188.113 388388.505 dE = 387200.4
- N: 5333.960 6461137.047 dN = 6455803.1

Perbedaan nilai pergeseran antara dua perbedaan koordinat terutama disebabkan oleh rotasi busur sekitar 38 menit antara bantalan grid. Pergeseran rata-rata dapat direpresentasikan, pada level 1m, sebagai 387.200E dan 6.455.802N. Hal ini sesuai dengan keakuratan GPS genggam. Pada skala 1:1.000, nilai-nilai ini dapat diplot hingga ke tingkat mm.



Gambar 12.3 Menggeser Grid UWA

Sebagai contoh, pembacaan GPS UTM E388285, N6461225 dapat diubah ke grid UWA sebagai:

- $388285 - 387200 = E1085$,
- $6461225 - 6455802 = N5423$, di tepi barat laut oval.

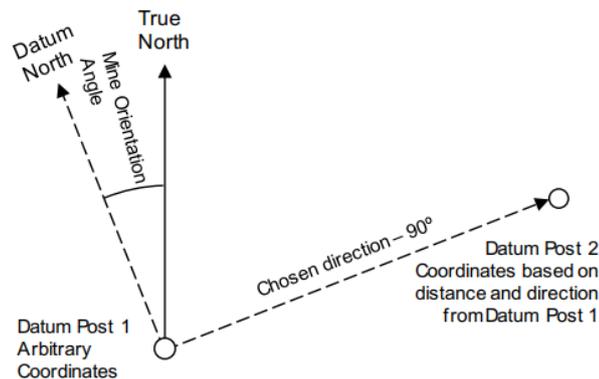
Sebaliknya, titik berskala, katakanlah LP9, di UWA E1196, N5397 menjadi, dalam koordinat UTM:

- $1196 + 387200 = E388396$
- $5397 + 6455802 = N6461199$

Transformasi konformal

Transformasi konformal antara dua sistem mempertahankan sudut antara sistem, dan dengan demikian bentuk area kecil. Transformasi antara dua sistem koordinat menggunakan empat (4) parameter; pergeseran datum di E dan N, perubahan skala yang sama di E dan N, dan rotasi sudut antara sistem. Ada sejumlah sistem koordinat berbeda yang dapat digunakan untuk proyek eksplorasi atau pertambangan. Umumnya lokasi tambang yang ada akan didasarkan pada Local Mine Grid (sistem Bumi Datar), tetapi harus dihubungkan ke *Geodetic Datum of Australian* (GDA). Sangat mungkin bahwa program eksplorasi awal akan didasarkan

pada koordinat MGA94. Dalam kedua situasi tersebut, maka perlu untuk dapat mengubah sekumpulan koordinat dari satu sistem ke sistem lainnya. Umumnya Local Mine Grid didasarkan pada titik datum terpilih yang terletak di area aman di lokasi dan diberikan sekumpulan koordinat yang sembarangan. Selain itu, sistem koordinat akan diorientasikan dengan memilih titik datum kedua dalam arah tertentu. Orientasi grid koordinat Local Mine Grid yang umum dapat didasarkan pada; arah tumbukan benda bijih, Utara Magnetik, Utara Sejati (Gambar 12.4) atau arah lain yang tampaknya tepat pada saat itu.



Gambar 12.4 Orientasi Grid Lokal

Sistem Koordinat yang paling umum digunakan saat ini dalam industri pertambangan cenderung berupa:

1. Map Grid of Australia 94 (MGA94), berdasarkan Geodetic Datum of Australia tahun 1994 mulai Januari 2000 dan seterusnya atau,
2. Local Mine Grid, sistem grid bidang berdasarkan koordinat dan orientasi yang berubah-ubah.

Namun, jika Anda berada di Australia dan menggunakan data atau informasi yang mendahului Januari 2000 maka ada sejumlah sistem koordinat lain yang dapat digunakan selain Local Mine Grid. Sistem ini adalah:

1. **Australian Map Grid 84 (AMG84)** Coordinates, berdasarkan Geodetic Datum Australia tahun 1984. Sistem koordinat ini adalah Sistem standar dari tahun 1984 hingga 1 Januari 2000 di Australia Barat, Australia Selatan, dan Queensland (Kirby 2010). Sistem ini digantikan dengan sistem MGA94 setelah tanggal ini. Perhatikan bahwa koordinat dalam sistem ini akan bervariasi dari koordinat MGA94 pada titik yang sama sekitar 200m ke arah Barat Daya.
2. **Koordinat Australian Map Grid 66 (AMG66)**. Sistem koordinat ini menggantikan sistem berbasis Negara Bagian pada tahun 1966 dan digunakan hingga diperkenalkannya sistem AMG84 pada tahun 1984, kecuali NSW, Victoria, dan Tasmania. Negara-negara bagian ini terus menggunakan sistem AGD66 hingga 1 Januari 2000.
3. Sistem koordinat sebelum tahun 1966 umumnya berbasis Negara Bagian atau sistem regional.

Mengingat jumlah sistem koordinat yang ada, sering kali merupakan persyaratan umum untuk dapat mengubah sekumpulan koordinat titik dari satu sistem ke sistem lainnya. Tidak berubah untuk area pertambangan atau eksplorasi yang didirikan setelah 1 Januari 2000, ini akan melibatkan transformasi antara MGA94 dan sistem Jaringan Tambang Lokal.

Untuk area kecil, dimungkinkan untuk menggunakan Transformasi 2 Dimensi berdasarkan 2 titik yang memiliki koordinat di salah satu sistem. Hal ini memungkinkan parameter berikut ditentukan yang kemudian dapat diterapkan untuk mengonversi koordinat dari satu sistem ke sistem lainnya.

- A) Pergeseran rotasi (θ) antara dua sistem.
- B) Pergeseran datum, E_0 , N_0 , dari satu sistem ke sistem lainnya.
- C) Perubahan skala (s) antara dua sistem.

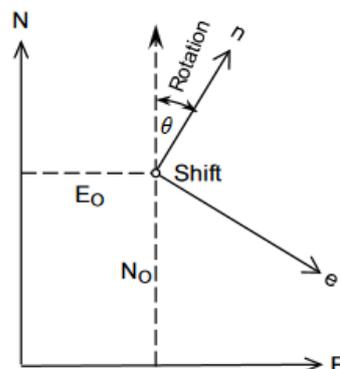
Proses ini memunculkan empat parameter transformasi (Uren et al, 2006) yang ditulis sebagai:

- $a = s \cos(\theta)$
- $b = s \sin(\theta)$
- E_0 = pergeseran koordinat titik asal di E
- N_0 = pergeseran koordinat titik asal di N.

Parameter ini dapat ditentukan dengan menuliskan hubungan untuk dua titik koordinat umum dalam bentuk empat persamaan:

- $e_1 = E_1 a - N_1 b + E_0$
- $n_1 = N_1 a + E_1 b + N_0$
- $e_2 = E_2 a - N_2 b + E_0$
- $n_2 = N_2 a + E_2 b + N_0$

Keempat persamaan ini dapat digunakan untuk menyelesaikan empat parameter transformasi a , b , E_0 , dan N_0 . Setelah keempat parameter ini diketahui, parameter tersebut dapat digunakan untuk mengonversi titik mana pun dalam sistem koordinat sekunder ke sistem koordinat primer. Parameter ini juga dapat dinyatakan sebagai a , b , c , dan d .

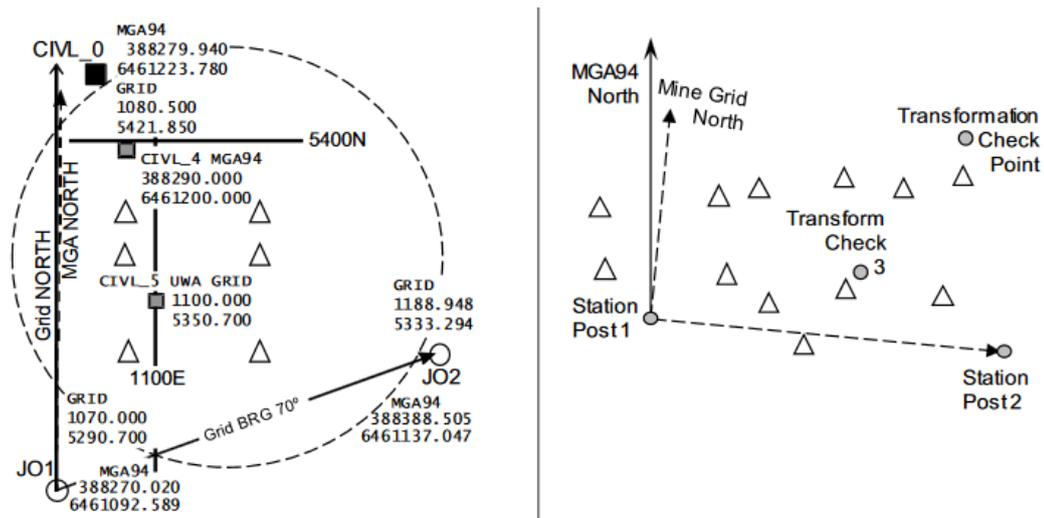


Gambar 12.5 Parameter Transformasi Konformal

Setiap parameter transformasi yang dihitung akan selalu berdasarkan data dari pekerjaan survei aktual sehingga kesalahan apa pun dalam kedua sistem akan muncul dalam parameter yang dihitung. Ini berarti bahwa parameter transformasi akan selalu menjadi "yang paling

sesuai". Kesalahan kecil apa pun dalam parameter transformasi yang dihasilkan dari kedua sistem survei akan bertambah seiring kemajuan Anda dari titik-titik acuan yang digunakan.

Secara umum, merupakan praktik yang baik untuk menghitung parameter transformasi berdasarkan titik-titik di luar area subjek. Selalu bekerja dari luar ke dalam. Minimal 2 titik diperlukan untuk menghitung parameter transformasi, tetapi merupakan praktik yang baik untuk memiliki 1 atau 2 titik koordinat ganda lainnya yang terletak di luar area untuk memeriksa keakuratan parameter transformasi.



Gambar 12.6 Tata Letak Jaringan Tambang Dan Lokasi Konstruksi Yang Umum

Transformasi dua dimensi (2D) yang dijelaskan di atas hanya dapat digunakan pada area kecil sekitar 5 kilometer atau kurang saat dikonversi dari koordinat MGA94 ke Koordinat Jaringan Tambang Lokal atau sebaliknya. Pada area yang luas, jenis transformasi ini tidak akan secara akurat memodelkan variasi skala proyeksi MGA ke sistem "Bumi Datar" seperti sistem Jaringan Tambang Lokal. Selain itu, kesalahan ini akan bertambah besar saat Anda bergerak keluar dari meridian tengah zona MGA Anda menuju batas zona. Sumber kesalahan lainnya adalah ketinggian di atas elipsoid dan variasi ketinggian di seluruh area transformasi.

Pada Tabel 12.1, area transformasi yang memiliki ketinggian seragam di area kurang dari 370m di atas elipsoid dan dalam jarak 40km dari meridian tengah akan memiliki kesalahan Oppm karena parameter transformasi yang digunakan. Dalam kasus di mana area yang dimaksud berkisar antara ketinggian 145m dan 595m, kesalahan yang terkait dengan transformasi akan mencapai 25ppm pada jarak sekitar 50Km dari meridian tengah.

Tabel 12.1 Perkiraan kesalahan relatif maksimum dalam bagian per juta (ppm) dari Transformasi 2D berdasarkan jarak dari meridian pusat dan rentang ketinggian (elipsoid) di area tersebut. Tabel milik Dr. Michael Kuhn, Curtin University.

	0 ppm	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm	25 ppm
0 km	170	125 – 215	80 – 260	35 – 305	10 – 350	55 – 395
10 km	180	135 – 225	90 – 270	45 – 315	0 – 360	45 – 405

20 km	200	155 – 245	110 – 290	65 – 335	20 – 380	25 – 425
30 km	245	200 – 290	155 – 335	110 – 380	65 – 425	20 – 470
40 km	300	255 – 345	210 – 390	165 – 435	120 – 480	75 – 525
50 km	370	325 - 415	280 – 460	235 – 505	190 – 550	145 – 595

Transformasi 2D hanya cocok untuk area kecil yang cukup dekat dengan meridian tengah. Jika area lebih besar atau memerlukan akurasi yang lebih tinggi, maka jenis transformasi koordinat lainnya perlu digunakan. Transformasi yang paling teliti dan akurat adalah transformasi grid ke file yang dapat memberikan akurasi antara 0,02 hingga 0,2m.

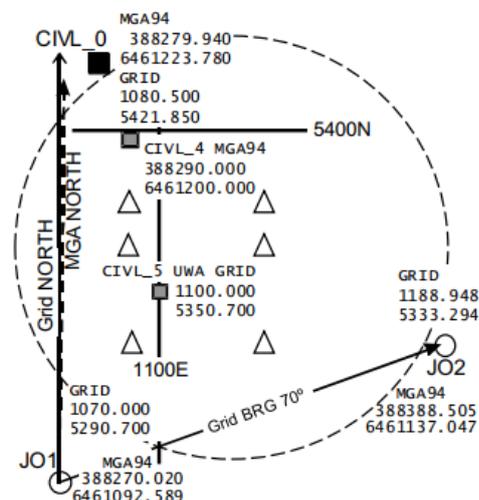
Contoh Kerja 12.1

Transformasi konformal di lokasi konstruksi.

Masalah umum yang dialami adalah di area konstruksi yang sudah ada di mana sistem koordinat lokal telah digunakan dan Anda melakukan survei dengan GNSS untuk menemukan atau menetapkan titik dalam koordinat MGA94. Tentukan serangkaian parameter transformasi yang akan memungkinkan transformasi koordinat antara kedua sistem. Seperti yang dibahas sebelumnya, transformasi dua dimensi sederhana memerlukan setidaknya dua (2) titik dengan koordinat yang diketahui di kedua sistem. Merupakan praktik survei yang baik untuk memiliki setidaknya satu titik yang diketahui lagi dengan koordinat di kedua sistem untuk memeriksa akurasi parameter transformasi Anda. Contoh kerja yang diberikan adalah penentuan parameter transformasi yang diperlukan untuk mengubah koordinat GNSS MGA94 dalam koordinat grid lokal. Stasiun JO1 dan JO2 menjadi koordinat grid konstruksi. Stasiun JO1 dan JO2 adalah stasiun datum asli. Surveyor hari itu menetapkan garis dasar lokalnya dan mengasumsikan bearing garis JO1 ke JO2 sebagai 70°. Stasiun 3 (CIVL_0) adalah titik pemeriksaan di lokasi yang memiliki koordinat MGA94 dan koordinat grid konstruksi.

Ubah koordinat MGA94 ke grid konstruksi.

Hitung parameter transformasi yang diperlukan untuk mengubah koordinat MGA lainnya ke koordinat grid konstruksi.



Gambar 12.7 Contoh Pengerjaan 12.1

Tata letak lokasi konstruksi.

Tabel 12.2 Data transformasi. Kisi konstruksi dan nilai MGA94 yang sesuai

Stasiun		e_{mine}	n_{mine}	E_{MGA}	N_{MGA}
JO1	1	1070.000	5290.700	388270.020	6461092.589
JO2	2	1188.948	5333.294	388388.505	6461137.047
CIVL_0	3	1081.2	5421.1	388279.940	6461223.780

- Menggunakan koordinat Stasiun 1 dan 2, (Tabel 12-2, Gambar 12.7), buatlah 4 persamaan transformasi.

$$e_1 = E_1a - N_1b + E_O \quad 1070.000 = 388270.020a - 6461092.589b + E_O \quad (12.1)$$

$$n_1 = N_1a + E_1b + N_O \quad 5290.700 = 6461092.589a + 388270.020b + N_O \quad (12.2)$$

$$e_2 = E_2a - N_2b + E_O \quad 1188.949 = 388388.505a - 6461137.047b + E_O \quad (12.3)$$

$$n_2 = N_2a + E_2b + N_O \quad 5333.294 = 6461137.047a + 388388.505b + N_O \quad (12.4)$$

- Kurangi persamaan (3) dari (1) dan persamaan (4) dari (2) untuk menghasilkan

$$-118.948 = -118.485a + 44.458b \quad (12.5)$$

$$-43.294 = -44.458a + (-118.485)b \quad (12.6)$$

- Kalikan Persamaan 12.6 dengan bilangan riil untuk membuat nilai a atau nilai b sama dengan nilai yang sesuai dalam Persamaan 12.5. Dalam kasus ini, kami telah memilih b agar sama dalam Persamaan 12.5 dan 12.6. faktor perkalian untuk

$$b = -\left(\frac{-44.458}{-118.485} = -0.3752205\right)$$

Nilai di atas sekarang dikalikan dengan kedua sisi Persamaan 12.6 untuk menghasilkan Persamaan 12.7.

$$\begin{aligned} -43.294 \times -0.3752205 &= -44.458 \times -0.3752205a - 118.485 \times -0.3752205b \\ 16.224796 &= 16.681553a + 44.458b \end{aligned} \quad (12.7)$$

- Kurangi Persamaan 12.7 dari Persamaan 12.5 dan selesaikan a.

$$\text{Eqn 12.5} \quad -118.948 = -118.485a + 44.459b$$

$$\text{Eqn 12.7 Subtract} \quad 16.224796 = 16.681553a + 44.458b$$

$$-135.193 = -135.166553a$$

$$a = \frac{-135.193}{-135.166553} = 1.00019416$$

- Selesaikan b dengan mensubstitusi nilai a (1.00019416) pada persamaan 12.5, 12.6 atau 12.7.

$$\text{Now, Eqn12.6 is} \quad -43.294 = -44.458a + (-118.485)b$$

$$\text{Substitute a value:} \quad -43.294 = -44.459 \times 1.00019416 + (-118.485)b$$

$$-43.294 = -44.4666318 + (-118.485)b$$

$$1.17263 = -118.485b$$

$$b = \frac{1.17263}{-118.485} = -0.0098969$$

6. Selesaikan pergeseran EO, (c), dan NO, (d), dengan menggunakan nilai a dan b yang telah dihitung. Anda dapat menggunakan persamaan (1) dan (2) untuk titik satu atau persamaan (3) dan (4) untuk titik 2. Cara yang baik untuk memeriksa masalah ini adalah dengan menyelesaikan kedua set persamaan dan memeriksa apakah EO dan NO sama untuk kedua titik.

$$e_1 = E_1a - N_1b + E_0, \text{ re-arrange formula}$$

$$E_0 = e_1 - E_1a + N_1b$$

$$\begin{aligned} E_0 &= 1070.000 - 388270.020 \times 1.00019416 + 6461092.589 \times -0.0098969 \\ &= 1070.000 - 388345.405 + (-63944.655) \end{aligned}$$

$$\mathbf{E_0 = -451,220.060} \text{ (note this is a minus shift)}$$

$$n_1 = N_1a + E_1b + N_0, \text{ re-arrange formula}$$

$$N_0 = n_1 - N_1a - E_1b$$

$$\begin{aligned} N_0 &= 5290.000 - 6461092.589 \times 1.00019416 + 388270.020 \times -0.0094969 \\ &= 5290.000 - 6462347.046 - (-3842.662) \end{aligned}$$

$$\mathbf{N_0 = -6,453,214.385}$$

7. Periksa. Langkah terakhir dari proses ini adalah memeriksa parameter transformasi Anda menggunakan titik umum ketiga (CIVL_0).

$$\mathbf{a = 1.00019416} \quad \mathbf{b = -0.0098969} \quad \mathbf{E_0 = -451,220.060} \quad \mathbf{N_0 = -6,453,214.385}$$

$$e_3 = E_3a - N_3b + E_0$$

$$\begin{aligned} &= 388279.940 \times 1.00019416 - 6461223.780 \times -0.0098969 + -451220.060 \\ &= 388355.327 - (-63945.953) + -451220.060 \end{aligned}$$

$$\mathbf{e_3 = 1081.220} \quad \mathbf{error -0.020}$$

$$n_3 = N_3a + E_3b + N_0$$

$$\begin{aligned} &= 6461223.78 \times 1.00019416 + 388279.94 \times -0.0098969 + (-6453214.385) \\ &= 6462478.263 + (-3842.760) + (-6453214.385) \end{aligned}$$

$$\mathbf{n_3 = 5421.118} \quad \mathbf{error -0.018}$$

Catatan: Koordinat grid pemeriksaan akan selalu sedikit berbeda dari koordinat survei yang diberikan. Hal ini dikarenakan kesalahan survei kecil yang ada di kedua jaringan koordinat.

Rotasi grid konstruksi dari MGA94 dapat ditentukan dari:

$$\theta = \text{Atan}\left(\frac{b}{a}\right) = \text{Atan}\left(\frac{-0.0098969}{1.00019416}\right) = \text{Atan}(-0.009894958) = -0.566921^\circ$$

$$\mathbf{\theta = -0^\circ 34' 01''}$$

Faktor skala antara MGA94 dan grid konstruksi dapat ditentukan dari:

$$S = \left(\frac{a}{\cos \theta}\right) = \left(\frac{1.00019416}{\cos(-0^\circ 34' 01'')}\right) = \frac{1.00019416}{0.999951}, \text{ or}$$

$$S = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{1.00019416^2 + (-0.0098969)^2}$$

$$\mathbf{S = 1.0002431}$$

Jadi, jika ada titik yang diturunkan dalam MGA 94, titik tersebut dapat diubah menjadi koordinat lokal. Titik CIVL_4 telah ditetapkan sebagai koordinat MGA94 $E_4 = 388.290.000$, $N_4 = 6.461.200.000$. Berapakah koordinat lokalnya (e_4 , n_4)?

$$\begin{aligned}
 e_4 &= E_{4a} - N_{4b} + E_0 \\
 &= 388290.000 \times 1.00019416 - 6461200.000 \times -0.0098969 + -451220.060 \\
 &= 388365.389 - (-63945.718) + -451220.060
 \end{aligned}$$

$$e_4 = \mathbf{1091.047}$$

$$\begin{aligned}
 n_4 &= N_{4a} + E_{4b} + N_0 \\
 &= 6461200.000 \times 1.00019416 + 388290.000 \times -0.0098969 + (-6453214.385) \\
 &= 6462454.478 + (-3842.859) + (-6453214.385)
 \end{aligned}$$

$$n_4 = \mathbf{5397.234}$$

Ubah koordinat grid konstruksi menjadi MGA94.

Hitung parameter transformasi yang diperlukan untuk mengubah koordinat grid konstruksi lainnya menjadi MGA94.

1. Untuk menentukan parameter transformasi untuk arah yang berlawanan, grid konstruksi menjadi MGA94, persamaan transformasi perlu ditulis ulang dan diselesaikan seperti pada contoh di atas.

$$\begin{aligned}
 E_1 &= e_{1a} - n_{1b} + e_0 \\
 N_1 &= n_{1a} + n_{1b} + n_0 \\
 E_2 &= e_{2a} - e_{2b} + e_0 \\
 N_2 &= n_{2a} + n_{2b} + n_0
 \end{aligned}$$

2. Parameter transformasi yang dihitung seperti yang telah ditunjukkan sebelumnya adalah:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a} &= \mathbf{0.999708} & \mathbf{b} &= \mathbf{0.0098921} & \mathbf{e_0} &= \mathbf{387,252.662} & \mathbf{n_0} &= \mathbf{6,455,793.549} \\
 \theta &= \mathbf{+ 0^\circ 34' 01''} & & & & & & \text{(same rotation as previous, opposite sign)} \\
 \mathbf{S} &= \mathbf{0.9997569} & & & & & & \text{(reciprocal of previous scale)}
 \end{aligned}$$

3. Periksa. Bandingkan titik grid konstruksi 3 (CIVL_0, $e_3 = 1081.2$, $n_3 = 5421.1$) dengan koordinat MGA94 yang sesuai:

$$\begin{aligned}
 E_3 &= e_{3a} - n_{3b} + e_0 \\
 &= 1081.5 \times 0.999708 - 5421.1 \times 0.00989207 + 387252.662 \\
 &= 1080.884 - 53.626 + 387252.662
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{E_3 = 388,279.920 \quad error 0.020}$$

$$\begin{aligned}
 N_3 &= n_{3a} + e_{3b} + n_0 \\
 &= 5421.1 \times 0.999708 + 1081.5 \times 0.00989207 + 6455793.549 \\
 &= 5419.517 + 10.695 + 6455793.549
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{N_3 = 6,461,223.762 \quad error 0.018}$$

Perhatikan kesalahan survei kecil yang ada di kedua jaringan koordinat. Dengan menggunakan parameter turunan, setiap titik lokal dapat diubah menjadi koordinat MGA94.

Ubah titik lainnya.

Titik CIVL_5 telah ditetapkan koordinat lokal $e_5 = 1100.000$, $n_5 = 5350.000$. Berapakah koordinat MGA94-nya?

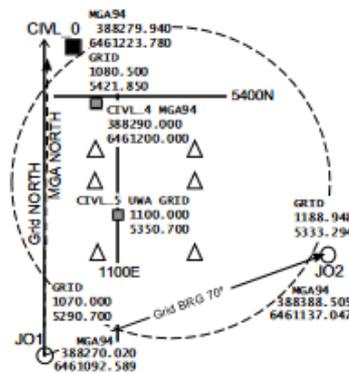
$$\begin{aligned}
 E_5 &= e_{5a} - n_{5b} + e_0 \\
 &= 1100.0 \times 0.999708 - 5350.0 \times 0.00989207 + 387252.662 \\
 &= 1099.679 - 52.923 + 387252.662
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{E_5 = 388,299.418}$$

$$\begin{aligned}
 N_5 &= n_5a + e_5b + n_0 \\
 &= 5350.0 \times 0.999708 + 1100.0 \times 0.00989207 + 6455793.549 \\
 &= 5348.437 + 10.881 + 6455793.549 \\
 N_5 &= \mathbf{6,461,152.868}
 \end{aligned}$$

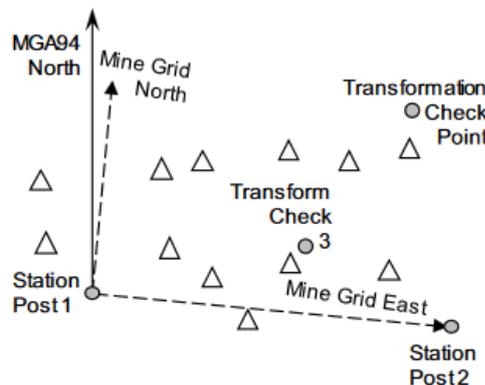
Tabel 12.3 Hasil transformasi dan diagram.

STN	E _{site}	N _{site}	EMGA	NMGA
JO1	1070.000	5290.700	388270.020	6461092.589
JO2	1188.948	5333.294	388388.505	6461137.047
CIVL_0	1081.200	5421.100	388279.940	6461223.780
CIVL_4	1091.047	5397.234	388290.000	6461200.000
CIVL_5	1100.000	5350.000	388299.418	6461152.868



Pendekatan Metode Matriks untuk Transformasi Koordinat - Solusi Unik

Ubah koordinat grid tambang menjadi MGA94. Contoh kerja berikut adalah penentuan parameter transformasi yang diperlukan untuk mengubah koordinat GNSS MGA94 dalam koordinat grid tambang lokal. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.8 dari rencana tambang, stasiun 1 dan stasiun 2 adalah stasiun datum tambang asli. Surveyor hari itu menetapkan garis dasarnya kira-kira ke timur dan menentukan arah garis sebagai 90°. Stasiun 3 adalah titik lain di lokasi yang memiliki koordinat MGA94 dan koordinat Grid Tambang. Titik pemeriksaan transformasi tambahan telah disediakan.



Gambar 12.8 Rencana Tambang Untuk Transformasi Koordinat Ke MGA94

Sementara Contoh Kerja 12.1 sebelumnya merupakan solusi langsung dari transformasi konformal unik, metode matriks diperkenalkan untuk menyelesaikan solusi unik tersebut. Metode ini akan menjadi dasar solusi Kuadrat Terkecil dari transformasi yang ditentukan lebih, dari konformal sederhana ke Afin dan seterusnya. Pengamatan umum dalam survei dapat disederhanakan menjadi bentuk matriks:

- $A \cdot x = b + v$
- x vektor suku-suku yang akan dihitung, termasuk koordinat
- b vektor yang berkaitan dengan pengamatan
- A matriks koefisien
- v vektor residual, yang merupakan nilai minimum.

Dengan mengambil transformasi konformal asli, dan menyadari bahwa ADA empat (4) parameter transformasi minimum,

The formulae (modified for W.E. 12.1) and the **A** matrix of coefficients is:

$$\begin{array}{l}
 e_1 = E_1a - N_1b + E_O + 0N_O \\
 n_1 = N_1a + E_1b + 0E_O + N_O \\
 e_2 = E_2a - N_2b + E_O + 0N_O \\
 n_2 = N_2a + E_2b + 0E_O + N_O
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{(point)} \\
 \mathbf{A} =
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 1 \\
 1 \\
 2 \\
 2
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 a \\
 b \\
 E_O \\
 N_O
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 E_1 \\
 N_1 \\
 E_2 \\
 N_2
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 -N_1 \\
 E_1 \\
 -N_2 \\
 E_2
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 E_O \\
 0 \\
 E_O \\
 0
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 N_O \\
 N_O \\
 0 \\
 N_O
 \end{array}$$

Solusinya unik, menggunakan dua titik, jadi tidak akan ada residu. Dan dengan demikian tidak ada matriks v dari residu. Contoh kerja 12.2. Transformasi Konformal berbasis Matriks. Data rencana tambang yang berkaitan dengan Gambar 12.8 ditunjukkan pada Tabel 12.4. Hitung parameter transformasi yang diperlukan untuk mengubah koordinat grid tambang lainnya ke MGA94.

Tabel 12-4 Data jaringan tambang untuk transformasi.

Station	e_{mine}	D_{mine}	E_{MGA}	N_{MGA}
Post 1	50000.000	125000.000	377990.614	6458835.443
Post 2	51235.300	125000.000	379218.354	6458701.729
3	50684.385	125224.717	378695.153	6458984.707
Check point			379042.990	6459442.390

1. Identifikasi matriks x dari parameter titik-titik X yang ditransformasikan:

$$\mathbf{x} = \begin{array}{c} a \\ b \\ E_O \\ N_O \end{array} \quad \text{is a } 4 \times 1 \text{ matrix}$$

2. Bentuk matriks A (4×4) dari koefisien observasi untuk E dan N . Solusinya meliputi titik kontrol 1 dan 2, yang dianggap tetap.

$$\mathbf{A} = \begin{array}{c|cc|cc} & \mathbf{a} & \mathbf{b} & \mathbf{E}_O & \mathbf{N}_O \\ \hline \mathbf{E}_1 & 377990.614 & -6458835.443 & 1 & 0 \\ \mathbf{N}_1 & 6458835.443 & 377990.614 & 0 & 1 \\ \hline \mathbf{E}_2 & 379218.354 & -6458701.729 & 1 & 0 \\ \mathbf{N}_2 & 6458701.729 & 379218.354 & 0 & 1 \end{array}$$

3. Bentuklah matrik \mathbf{b} (4×1); matrik koordinat yang diamati dalam sistem Tambang.

$$\mathbf{b} = \begin{array}{c|c} \mathbf{e}_1 & 50000.000 \\ \mathbf{n}_1 & 125000.000 \\ \hline \mathbf{e}_2 & 51235.300 \\ \mathbf{n}_2 & 125000.000 \end{array}$$

n_1 dan n_2 berada pada garis Timur/Barat.

4. Karena tidak ada residu (solusi unik), kita memiliki matriks: $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b}$. Maka:
 $\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{b}$ (A invers x b) Matriks A adalah 4×4 dan merupakan latihan utama untuk melakukan inversi secara manual. Menggunakan Matlab =inv(A), atau Microsoft Excel, rutin inversi {=MINVERSE(A11:A44)} menghasilkan A invers (ditampilkan ke 6DP).

$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{array}{c|cccc} & -0.000805 & 8.766838^{-5} & 0.000805 & -8.766838^{-5} \\ & -8.766838^{-5} & -0.000805 & 8.766838^{-5} & 0.000805 \\ & -260.969573 & -5232.220538 & 261.969573 & 5232.220538 \\ & 5232.220538 & -260.969573 & -5232.220538 & 261.969573 \end{array}$$

5. Sekarang cari matriks \mathbf{x} (4×1): $\mathbf{x} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{b}$ (4×4) \times (4×1) = (4×1)

$$\mathbf{A}^{-1} \begin{array}{c|cccc} & -0.000805 & 8.766838^{-5} & 0.000805 & -8.766838^{-5} \\ & -8.766838^{-5} & -0.000805 & 8.766838^{-5} & 0.000805 \\ & -260.969573 & -5232.220538 & 261.969573 & 5232.220538 \\ & 5232.220538 & -260.969573 & -5232.220538 & 261.969573 \end{array} \cdot \mathbf{b} \begin{array}{c|c} & 50000.000 \\ & 125000.000 \\ & 51235.300 \\ & 125000.000 \end{array}$$

$$\{\mathbf{x}_{11}:\mathbf{x}_{41}\} = \{\text{MMULT}(\text{MINVERSE}(\mathbf{A}_{11}:\mathbf{A}_{44}), \mathbf{b}_{11}:\mathbf{b}_{41})\}$$

$$\mathbf{x} = \begin{array}{c|c} \mathbf{a} & 0.994363 \\ \mathbf{b} & 0.108297 \\ \mathbf{E}_O & 373611.013 \\ \mathbf{N}_O & -6338362.031 \end{array}$$

6. Dan rotasi:

$$\theta = \text{Atan}\left(\frac{\mathbf{b}}{\mathbf{a}}\right) = \text{Atan}\left(\frac{0.108297}{0.994363}\right) = \text{Atan}(0.1089109) = 6.215638^\circ$$

$$\theta = 6^\circ 12' 56''$$

7. Temukan faktor skala dari:

$$S = \sqrt{\mathbf{a}^2 + \mathbf{b}^2} = \sqrt{0.994363^2 + 0.108297^2}$$

$$S = 1.000243$$

8. Perhitungan koordinat titik 3 dengan menggunakan koefisien pengamatan (koordinat MGA94 Stasiun 3):

$$\begin{array}{l} \mathbf{e}_3 = \mathbf{E}_3\mathbf{a} - \mathbf{N}_3\mathbf{b} + \mathbf{E}_O + 0\mathbf{N}_O \\ \mathbf{n}_3 = \mathbf{N}_3\mathbf{a} + \mathbf{E}_3\mathbf{b} + 0\mathbf{E}_O + \mathbf{N}_O \end{array} \quad \mathbf{A}_3 \begin{array}{c|cccc} & 378695.153 & -6458984.707 & 1 & 0 \\ & 6458984.707 & 378695.153 & 1 & 0 \end{array}$$

$$\mathbf{Result Matrix} = \mathbf{A}_3 \cdot \mathbf{x} \quad \{\mathbf{a}_{11}:\mathbf{a}_{21}\} = \{\text{MMULT}(\mathbf{A}_{3_{11}}:\mathbf{A}_{3_{24}}, \mathbf{x}_{11}:\mathbf{x}_{41})\}$$

$$\mathbf{e}_3 = 50,684.403 \quad (\text{error } 0.018)$$

$$\mathbf{n}_3 = 125,224.722 \quad (\text{error } 0.005)$$

Membalikkan transformasi. Jaringan tambang ke MGA94.

Untuk menentukan parameter transformasi untuk arah yang berlawanan, Jaringan Tambang Lokal ke MGA94, persamaan transformasi perlu ditulis ulang dan diselesaikan seperti pada contoh sebelumnya.

The formulæ are (from W.E. 12.1) and the **A** matrix of coefficients is:

$$\begin{array}{l}
 E_1 = e_1a - n_1b + e_0 \\
 N_1 = n_1a + n_1b + n_0 \\
 E_2 = e_2a - e_2b + e_0 \\
 N_2 = n_2a + n_2b + n_0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{(point)} \\
 \mathbf{A} = \begin{array}{c|cc}
 1 & a & b \\
 1 & e_1 & -n_1 \\
 2 & e_2 & -n_2 \\
 2 & n_2 & e_2
 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{cc}
 e_0 & n_0 \\
 E_0 & 0 \\
 0 & N_0 \\
 E_0 & 0 \\
 0 & N_0
 \end{array}$$

1. Bentuk matriks A (4 x 4) dari koefisien pengamatan untuk e dan n dalam sistem tambang. Solusinya terdiri dari titik kontrol 1 dan 2, yang dianggap tetap.

$$\mathbf{A} = \begin{array}{c|cc}
 & a & b \\
 \hline
 E_1 & 50000 & -125000 \\
 N_1 & 125000 & 50000 \\
 E_2 & 51235.3 & -125000 \\
 N_2 & 125000 & 51235.3
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{cc}
 e_0 & n_0 \\
 1 & 0 \\
 0 & 1 \\
 1 & 0 \\
 0 & 1
 \end{array}$$

2. Bentuk matriks b (4 x 1); matriks koordinat yang diamati dalam sistem MGA.

$$\mathbf{b} = \begin{array}{c|c}
 E_1 & 377990.614 \\
 N_1 & 6458835.443 \\
 E_2 & 379218.354 \\
 N_2 & 6458701.729
 \end{array}$$

3. Karena tidak ada residu (solusi unik), maka kita memiliki matriks: $A \cdot x = b$. Maka: $x = A^{-1} \cdot b$

4. Sekarang cari matriks x (4 x 1): $x = A^{-1} \cdot b$ (4 x 4) x (4 x 1) = (4 x 1)

$$\begin{array}{c}
 \{x_{11}:x_{41}\} \\
 \mathbf{x} = \begin{array}{c|c}
 a & 0.993880 \\
 b & -0.108244 \\
 e_0 & 314766.094 \\
 n_0 & -6340012.647
 \end{array}
 \end{array}
 = \{MMULT(MINVERSE(A_{11}:A_{44}),b_{11}:b_{41})\}$$

Parameter transformasinya adalah:

$$\begin{array}{ll}
 \mathbf{a} = 0.993880 & \mathbf{b} = -0.108244 \\
 \theta = -6^\circ 12' 56'' & \text{(same rotation as previous, opposite sign)} \\
 \mathbf{S} = 0.999757 & \text{(reciprocal of previous scale)}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{ll}
 \mathbf{e}_0 = 314,766.094 & \mathbf{n}_0 = 6,340,012.647
 \end{array}$$

5. Menghitung koordinat titik 3, menggunakan koefisien pengamatan (koordinat MINE Stasiun 3):

$$\begin{aligned}
 E_3 &= e_3a - n_3b + e_0 + 0n_0 \\
 N_3 &= n_3a + e_3b + 0e_0 + n_0 \\
 \mathbf{A}_3 &= \begin{vmatrix} 50684.385 & -125224.717 & 1 & 0 \\ 125224.717 & 50684.385 & 1 & 0 \end{vmatrix} \\
 \text{Result Matrix} &= \mathbf{A}_3 \cdot \mathbf{x} \\
 \mathbf{x} &= \{\mathbf{a}_{11}:\mathbf{a}_{21}\} = \{\text{MMULT}(\mathbf{A}_{311}:\mathbf{A}_{324}, \mathbf{x}_{11}:\mathbf{x}_{41})\} \\
 E_3 &= 378,695.135 \quad (\text{error } 0.018) \\
 N_3 &= 6,458,984.704 \quad (\text{error } 0.003)
 \end{aligned}$$

Perhatikan kesalahan survei kecil yang ada di kedua jaringan koordinat.

Solusi Kuadrat Terkecil untuk Transformasi Koordinat

Dengan mengambil transformasi konformal asli, dan memperkenalkan titik ketiga, Stasiun 3, transformasi menjadi terlalu ditentukan karena ada lebih banyak koefisien, enam (6), daripada empat (4) parameter transformasi minimum yang diperlukan. Kami melihat kesalahan transformasi kecil antara solusi maju dan mundur kami dalam Contoh Kerja 12.2. Sekarang kami akan mendistribusikan kesalahan itu untuk memberikan estimasi yang lebih baik dari parameter transformasi (a , b , E_0 , N_0) untuk memungkinkan solusi yang "lebih baik" dari titik transformasi yang tidak diketahui.

Rumusnya adalah (dimodifikasi dari W.E. 12.1) dan matriks koefisien A adalah:

$$\begin{aligned}
 e_1 &= E_1a - N_1b + E_0 + 0N_0 \\
 n_1 &= N_1a + E_1b + 0E_0 + N_0 \\
 e_2 &= E_2a - N_2b + E_0 + 0N_0 \\
 n_2 &= N_2a + E_2b + 0E_0 + N_0 \\
 e_3 &= E_3a - N_3b + E_0 + 0N_0 \\
 n_3 &= N_3a + E_3b + 0E_0 + N_0
 \end{aligned}
 \quad
 \mathbf{A} = \begin{matrix} & \text{(point)} & a & b & E_0 & N_0 \\ \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \end{matrix} & \begin{vmatrix} E_1 & -N_1 & E_0 & 0 \\ N_1 & E_1 & 0 & N_0 \\ E_2 & -N_2 & E_0 & 0 \\ N_2 & E_2 & 0 & N_0 \\ E_3 & -N_3 & E_0 & 0 \\ N_3 & E_3 & 0 & N_0 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

Solusi ini tidak unik, menggunakan tiga titik, jadi akan ada kesalahan residual. Akan ada matriks v .

Contoh Kerja Transformasi Konformal Kuadrat Terkecil yang Ditentukan Lebih.

Penggunaan Microsoft Excel™ untuk menyelesaikan masalah ini

1. Bentuk matriks x dari parameter titik-titik X yang ditransformasikan:

$$\mathbf{x} = \begin{vmatrix} a \\ b \\ E_0 \\ N_0 \end{vmatrix}$$

2. Bentuk matriks A (6×4) dari koefisien observasi untuk E dan N . Solusinya meliputi titik kontrol 1, 2 dan 3, yang dianggap tetap.

$$\mathbf{A} = \begin{matrix} & a & b & E_0 & N_0 \\ \begin{matrix} E_1 \\ N_1 \\ E_2 \\ N_2 \\ E_3 \\ N_3 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 377990.614 & -6458835.443 & 1 & 0 \\ 6458835.443 & 377990.614 & 0 & 1 \\ 379218.354 & -6458701.729 & 1 & 0 \\ 6458701.729 & 379218.354 & 0 & 1 \\ 378695.153 & -6458984.707 & 1 & 0 \\ 6458984.707 & 378695.153 & 0 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

3. Bentuklah matriks b (6×1); matriks koordinat yang diamati dalam sistem Tambang.

$$\mathbf{b} = \begin{array}{l|l} \mathbf{e}_1 & 50000.000 \\ \mathbf{n}_1 & 125000.000 \\ \mathbf{e}_2 & 51235.300 \\ \mathbf{n}_2 & 125000.000 \\ \mathbf{e}_3 & 50684.385 \\ \mathbf{n}_3 & 125224.717 \end{array}$$

4. Karena sekarang terdapat residu (solusi yang ditentukan lebih), kita harus menghasilkan matriks v (6×1) dari residu, v , (huruf Yunani, ν).

$$\mathbf{v} = \begin{array}{l|l} \mathbf{e}_1 & \nu \mathbf{e}_1 \\ \mathbf{n}_1 & \nu \mathbf{n}_1 \\ \mathbf{e}_2 & \nu \mathbf{e}_2 \\ \mathbf{n}_2 & \nu \mathbf{n}_2 \\ \mathbf{e}_3 & \nu \mathbf{e}_3 \\ \mathbf{n}_3 & \nu \mathbf{n}_3 \end{array}$$

5. Selesaikan matriks $A \cdot x = b + v$.

Matriks tersebut harus dinormalisasi terlebih dahulu ke bentuk dengan menggunakan transpos $A, A^T: A^T \cdot A \cdot x = A^T \cdot b$, kemudian, dengan meminimalkan $A^T A$ dengan kuadrat terkecil, akan menghasilkan:

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} \cdot A^T b \text{ (Invert(Atranspose A) dikali (Atranspose b)).}$$

Pembuatan matriks $A^T A$ (4×6) \times (6×4) adalah 4×4 dan merupakan latihan utama untuk menghitung, kemudian menginversi, dengan tangan. Dengan menggunakan Microsoft Excel, rutin transpos matriks, perkalian, dan inversi menghasilkan (perhatikan bahwa ini juga dapat dilakukan dalam perangkat lunak aljabar seperti MATLAB atau Mathematica):

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} = \begin{array}{l|llll} & 1.2558^{14} & 0 & 1135904.121 & 19376521.88 \\ & 0 & 1.2558^{14} & -19376521.88 & 1135904.121 \\ 1135904.121 & -19376521.88 & & 3 & 0 \\ 19376521.88 & 1135904.121 & & 0 & 3 \end{array}$$

6. Carilah matriks N^{-1} (invers): (Ninverse adalah invers dari $A^T \cdot A$).

$$\{N^{-1}_{11}: N^{-1}_{41}\} = \{\text{MINVERSE}(\text{MMULT}(\text{TRANSPOSE}(A_{11}:A_{64}), A_{11}:A_{64}))\}$$

$$\begin{array}{l} (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \\ = \mathbf{N}^{-1} \end{array} \begin{array}{l|llll} & 1.2512^{-6} & 1.101607^{-15} & -0.4737483 & -8.081310 \\ & -2.5362^{-15} & 1.2512^{-6} & 8.081310 & -0.4737483 \\ -0.4737483 & 8.081310 & 52375271.9 & 0.07613824 & \\ -8.081310 & -0.4737483 & -0.07613824 & 52375271.4 & \end{array}$$

7. Sekarang cari matriks $A^T \cdot b$ (4×1):

$$\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{b} \begin{array}{l|l} & 2.48104E+12 \\ & -8.39152E+11 \\ & 151919.685 \\ & 375224.717 \end{array}$$

8. Akhirnya matriks x (4×1):

$$\mathbf{x} = \mathbf{N}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{b} \quad (4 \times 4) \times (4 \times 1) = (4 \times 1)$$

$$\{x_{11}:x_{41}\} = \{\text{MMULT}(\mathbf{N}^{-1}_{11}:\mathbf{N}^{-1}_{44}), \mathbf{A}^T \mathbf{b}_{11}:\mathbf{A}^T \mathbf{b}_{41}\}$$

$$\mathbf{x} = \begin{array}{l|l} \mathbf{a} & 0.994361 \\ \mathbf{b} & 0.108300 \\ E_0 & 373630.072 \\ N_0 & -6338348.973 \end{array}$$

9. Dan rotasi:

$$\theta = \text{Atan}\left(\frac{b}{a}\right) = \text{Atan}\left(\frac{0.108300}{0.994361}\right) = \text{Atan}(0.1089142) = 6.215821^\circ$$

$$\theta = 6^\circ 12' 57''$$

10. Temukan faktor skala dari:

$$S = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{0.994361^2 + 0.108300^2}$$

$$S = 1.000241$$

11. Perhitungan koordinat yang telah disesuaikan dari tiga titik, menggunakan koefisien pengamatan. (koordinat MGA94 stasiun) memberikan koordinat yang telah disesuaikan dan residunya:

Result Matrix: $\mathbf{b}_{\text{calc}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}$		$\mathbf{V} = \mathbf{b}_{\text{obs}} - \mathbf{b}_{\text{calc}}$ (residuals)	
e_1	49999.996	0.004	This is the sum of the residuals, close to zero.
n_1	124999.997	0.003	
e_2	51235.293	0.007	
n_2	125000.001	-0.001	
e_3	50684.396	-0.011	
n_3	125224.721	<u>-0.004</u>	
	SUM	-0.002	

12. Hitung koordinat grid ranjau yang telah disesuaikan dari titik pemeriksaan MGA94, yang sebelumnya seharusnya telah mengamati koordinat grid ranjau:

Matriks Ack (6 x 4) dari koefisien pengamatan untuk E dan N adalah:

$$\mathbf{A} = \begin{array}{l|llll} & \mathbf{a} & \mathbf{b} & E_0 & N_0 \\ E_{ck} & 377990.614 & -6458835.443 & 1 & 0 \\ N_{ck} & 6458835.443 & 377990.614 & 0 & 1 \end{array}$$

$$\mathbf{Result\ matrix: } \mathbf{b}_{\text{calc}} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}$$

$$\begin{array}{l|l} e_{ck} & 50980.705 \\ n_{ck} & 125717.493 \end{array}$$

Penggunaan MATLAB untuk memecahkan masalah.

Mata kuliah Anda akan memperkenalkan Anda pada lingkungan MATLAB sebagai alat pemrograman dan pemecahan masalah. Ada banyak buku bagus tentang subjek tersebut; ada banyak keahlian di sekitar departemen Ilmu Spasial. Bandingkan solusi spreadsheet dengan solusi MATLAB secara paralel. Menggunakan MATLAB sebagai kalkulator matriks (Contoh Kerja 12.3): Kita akan menggunakan koma (,) sebagai pemisah variabel, meskipun spasi atau tab akan melakukan hal yang sama. Memasukkan matriks multidimensi memerlukan

penggunaan tombol Enter di akhir setiap baris; menggunakan simbol \leftrightarrow untuk menunjukkan tombol tersebut. Lihat pembentukan matriks pada halaman spreadsheet.

1. Bentuk matriks A (6 x 4) dari koefisien observasi untuk E dan N. Solusinya terdiri dari titik kontrol 1, 2 dan 3, yang dianggap tetap.

Masukkan koefisien a, b, E₀, N₀ untuk setiap baris:

```
EDU>> A = [ 377990.614, -6458835.443, 1, 0 ↵
6458835.443, 377990.614, 0, 1 ↵
379218.354, -6458701.729, 1, 0 ↵
6458701.729, 379218.354, 0, 1 ↵
378695.153, -6458984.707, 1, 0 ↵
6458984.707, 378695.153, 0, 1]; ↵
```

Catatan:

- a) Matriks diawali dengan tanda kurung siku pembuka [
 - b) Matriks diakhiri dengan tanda kurung siku penutup]
 - c) Tanda titik koma, ,, setelah tanda kurung tutup menghilangkan tampilan matriks a.
2. Bentuk matriks b (6 x 1); matriks koordinat yang diamati dalam sistem Mine. (bobs)

```
EDU>> b = [ 50000 ↵
125000 ↵
51235.3 ↵
125000 ↵
50684.385 ↵
125224.717]; ↵
```

3. Selesaikan matriks $A \cdot x = b + v$.

Matriks tersebut harus dinormalisasi terlebih dahulu ke dalam bentuk:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{b} + \mathbf{v}, \text{ then}$$

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \mathbf{b} + \mathbf{v}$$

Matriks \mathbf{x} dan \mathbf{v} dapat ditangani sebagai kalkulasi normal.

```
EDU>>> x = (inv(A' * A)) * (A' * b) ↵
```

Perhatikan

- a) Fungsi $\text{inv}(\mathbf{A}' * \mathbf{A})$ mencari invers dari ekspresi dalam tanda kurung,
- b) \mathbf{A}' (**bilangan prima A**) adalah transpos dari matriks \mathbf{A} ,
- c) Tanpa titik koma, vektor \mathbf{x} (matriks) ditampilkan hingga 4 dp dengan penskalaan,
- d) Tanda kurung tambahan (yang tidak perlu) telah disertakan demi kejelasan.

$\mathbf{x} =$

1.0e+006 *	The answers to 4 or 3dp derived from <code>format long</code>
0.0000	a 0.9944
0.0000	b 0.1083
0.3736	E₀ 373630.072
-6.3383	N₀ -6338348.973

4. Temukan rotasi dalam radian: $\theta = \text{Atan} \left(\frac{b}{a} \right)$

```
EDU>>Rotation = atan(x(2)/x(1)) ← define Rotation: x(2) = b, x(1) = a
Rotation =
    0.1085 radians, to be converted to degrees.
EDU>>R_degrees = Rotation * 180/pi ←
R_degrees =
    6.2158 | θ = 6° 12' 57"
```

5. Dan faktor skala, $SF = \sqrt{a^2 + b^2}$ definisikan SF menggunakan fungsi norm(vektor).

```
EDU>>SF = norm(x(1:2)) ← x(1:2) represents the first two elements, a and b, of x vector.
1.0002 | SF = 1.000241
```

6. Hitung koordinat yang disesuaikan dari tiga titik, bcalc

Hasil Matriks: $b_{calc} = A \cdot x$

```
EDU>> bcalc = A*x ← define bcalc, adjusted values of transformed coordinates.
bcalc =
    1.0e+005 * | These are the values to 3dp.
    0.5000 | e1 49999.996
    1.2500 | n1 124999.997
    0.5124 | e2 51235.293
    1.2500 | n2 125000.000
    0.5068 | e3 50684.396
    1.2522 | n3 125224.720
```

7. Hitung residu.

Matriks residu: $v = b - b_{calc}$ (residual)

```
EDU>> v = b-bcalc ← define v, residuals between observed and calculated coordinates.
v =
    0.0045
    0.0034
    0.0068
   -0.0003
   -0.0113
   -0.0031
```

8. Periksa apakah jumlah vektor residual adalah minimum.

```
EDU>> sumv = sum(v) ←
sumv =
    0.0000 | Sum residuals.
```

12.4 PENERJEMAHAN KOORDINAT TEKNIK YANG SANGAT BERMANFAAT

Anda pasti sudah memperhatikan bahwa bekerja dalam koordinat MGA, dan bahkan di Jaringan Tambang Lokal, Anda memiliki sejumlah angka penting untuk dimanipulasi. Jika digunakan langsung dalam program, angka-angka ini jauh di luar kemampuan kalkulator 12 digit sekalipun. Faktanya, Microsoft Excel menimbulkan kesalahan, bahkan dengan perhitungan 16 digitnya. Apa yang harus dilakukan? Terjemahkan sumbu dari satu atau kedua sistem koordinat. Itulah yang harus dilakukan! Mengapa menggunakan angka seperti E378.000, N6.500.000 (MGA) ketika area kerja hanya mencakup area $dE < 1.300$ dan $dN < 300$? Mengapa tidak memindahkan (menerjemahkan) ORIGIN mendekati lokasi kerja?

- Ini adalah data asli (Tabel 12.5):

Tabel 12.5 Data tambang asli.

Station	e_{mine}	n_{mine}	E_{MGA}	N_{MGA}
Post 1	50000.000	125000.000	377990.614	6458835.443
Post 2	51235.300	125000.000	379218.354	6458701.729
3	50684.385	125224.717	378695.153	6458984.707

Dengan pemeriksaan, kita dapat memilih beberapa angka minimum untuk kedua sistem yang akan meninggalkan sistem di kuadran pertama:

Asal-usul salah tambang Asal-usul salah MGA

False origin mine	False origin MGA
e_{mine} 50000	E_{MGA} 377,900
n_{mine} 125000	N_{MGA} 6,458,700

2. Dengan mengurangi KEDUA set asal yang salah, koordinat yang DITERJEMAHKAN adalah (Tabel 12.6):

Tabel 12-6 Data tambang yang diterjemahkan.

Station	e_{mine}	n_{mine}	E_{MGA}	N_{MGA}
Post 1	0.000	0.000	390.614	135.443
Post 2	1235.300	0.000	1318.354	11.729
3	684.385	224.717	795.153	284.707

Hal menarik kini terjadi:

The x_{orig} matrix was:		becomes translated x_{shift} :		
$x =$	a	0.994361	a	0.994361
	b	0.108300	b	0.108300
	E_0	373630.072	E_0	-75.439
	N_0	-6338348.973	N_0	-144.496

Hampir tidak ada perubahan untuk faktor skala, s , atau rotasi, θ . Namun, pergeseran, E_0 dan N_0 , jauh lebih mudah ditangani. Namun, residual-lah yang menyediakan bahan untuk dipikirkan. Residual asli, residual koordinat terjemahan yang ditransformasikan adalah:

e_1	v_{orig}	b_{calc}	v_{shift}
	0.004	49999.996	0.004
n_1	0.003	124999.997	0.003
e_2	0.007	51235.293	0.007
n_2	-0.001	125000.000	0.000
e_3	-0.011	50684.396	-0.011
n_3	-0.004	125224.720	-0.003
SUM	-0.002		0.000

Ini menunjukkan bahwa beberapa kesalahan telah menyusup ke dalam transformasi asli karena keterbatasan komputasi program Excel. Menggunakan kalkulator 12 digit pada soal asli akan memberikan jawaban yang tidak berarti, bahkan yang diprogram untuk melakukan penyesuaian kuadrat terkecil.

3. Terakhir TAMBAHKAN titik asal yang salah ke titik yang ditransformasikan. Ini mengembalikan Anda ke kerangka acuan asli.
Perhatikan bahwa batasan komputasi tidak muncul di MATLAB.

12.5 RESEKSI KE TITIK DENGAN EDM SOLUSI KUADRAT TERKECIL

Metode penentuan posisi modern menggunakan Total Station menggunakan perpotongan dari titik yang diketahui ke titik observasi yang tidak diketahui yang ditempati oleh TS. Reseksi juga merupakan fungsi yang ditemukan di semua perangkat lunak TS dan bagian ini dimaksudkan sebagai pengantar metode reseksi termasuk solusi kuadrat terkecil - untuk menghitung stasiun yang paling mungkin tidak diketahui. Total Station mengukur jarak dan arah secara langsung ke target yang ditetapkan pada titik yang diketahui. Mengingat Bagian 6.3, perpotongan jarak, solusi langsung, dapat dilihat bahwa Total Station akan memberikan jarak horizontal ke dua titik yang diketahui. Titik yang tidak diketahui dapat dihitung secara langsung. Namun, TS juga menunjukkan arah. Arah ke titik-titik yang diketahui dengan demikian membentuk sudut dari titik pengamatan ke dua titik yang diketahui. Meskipun kita mungkin menganggap sudut ini sebagai informasi yang berlebihan (tidak digunakan dalam solusi berdasarkan jarak); sudut ini tetap dapat digunakan sebagai pemeriksaan perhitungan kita. Dengan menghitung arah dari titik tak dikenal yang dipecahkan ke dua titik yang diketahui, kita bisa mendapatkan sudut yang disertakan pada titik yang tidak diketahui.

Namun, lebih dari sekadar pemeriksaan, sudut ini sekarang dapat disertakan dalam solusi koordinat yang tidak diketahui sehingga nilai koordinat yang kita hitung sedekat mungkin dengan nilai sebenarnya yang dapat kita buat, dan buktikan, dari SEMUA informasi yang tersedia. Metode yang kita gunakan adalah metode Kuadrat Terkecil di mana jumlah kuadrat selisih antara nilai yang dihitung dan nilai sebenarnya, yaitu residual, adalah minimum. Dari informasi ini, kita dapat memperoleh informasi lebih lanjut tentang "akurasi" pengamatan kita, yaitu deviasi standar. Sebagian besar solusi kuadrat terkecil berada di luar cakupan perhitungan manual. Surveyor akan diperkenalkan dengan perangkat lunak kuadrat terkecil di tahun-tahun berikutnya dalam kursus mereka. Perangkat lunak akan mengerjakannya untuk mereka. Namun, bagian ini, dengan masalah sederhana, akan diselesaikan secara manual menggunakan manipulasi matriks untuk menunjukkan prosesnya. Kemampuan untuk memahami dan memanipulasi matriks, bersama dengan diferensiasi parsial dan linearisasi fungsi, sangat penting untuk memahami solusi kuadrat terkecil. Matlab akan menjadi perangkat lunak instruksi untuk pekerjaan matriks.

Microsoft Excel juga dapat memanipulasi matriks, asalkan Anda mengetahui aturannya, dan tidak terlalu ambisius. Bagian ini akan menggunakan perhitungan matriks secara manual (hingga 3 x 3) atau Excel untuk sistem yang lebih besar. Perhitungan akan dilakukan dalam ruang 2D (X, Y atau E, N), namun ruang 3D (Z atau tinggi) dapat digabungkan dengan relatif mudah. Semua perhitungan telah dilakukan di Microsoft Excel dengan presisi

penuh dan kemudian ditampilkan seperti yang ditunjukkan. Angka-angka tersebut belum dipotong.

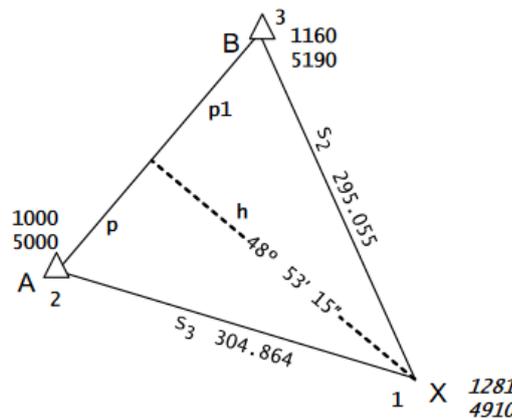
Reseksi dengan Pengamatan dari Titik yang Tidak Diketahui ke Dua Titik yang Diketahui

Pada Gambar 12.9, koordinat X yang disesuaikan akan dihitung dari pengamatan berikut: Kontrol A E1000.000, N5000.000, titik tetap B E1160.000, N5190.000, tetap Di stasiun X, pengamatan berikut dilakukan:

- $XA = 304,864 \pm 0,01\text{m}$ (jarak H)
- $XB = 295,055 \pm 0,01\text{m}$ (jarak H)
- $\angle AXB = 48^\circ 53' 15'' \pm 10''$

Koordinat awal untuk X telah dihitung dari metode yang dijelaskan di Bagian 6.3, perpotongan berdasarkan jarak. Gambar 12.9 telah diberi anotasi untuk membantu Anda mengonfirmasi koordinat X (titik 1), Nilai awal untuk perhitungan: X E1281, N4910. Nilai koordinat X yang paling mungkin adalah:

$EX = eX + \delta EX$ nilai awal + kesalahan kecil



Gambar 12.9 Reseksi Dari Titik Yang Tidak Diketahui

$$NX = nX + \delta NX$$

Semua persamaan survei yang melibatkan pengamatan dapat disederhanakan menjadi bentuk:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b} + \mathbf{v}$$

- \mathbf{x} vektor suku-suku yang akan dihitung, termasuk koordinat
- \mathbf{b} vektor pengamatan
- $\mathbf{A} \cdot \mathbf{a}$ matriks koefisien (atau matriks rancangan)
- \mathbf{v} vektor residual, yang harus minimum (atau vektor galat).

1. Bentuk matriks \mathbf{x} galat dalam Easting dan Northing titik X:

$$\mathbf{x} = \begin{vmatrix} \delta E_X \\ \delta N_X \end{vmatrix} \text{ is a } 2 \times 1 \text{ matrix.}$$

2. Bearing dan jarak dari koordinat awal X ke A dan B dihitung.

$$\begin{aligned}\theta_{XA} &= 287^{\circ}45'34'' & s_{XA} &= 295.061 \\ \theta_{XB} &= 336^{\circ}37'44'' & s_{XA} &= 305.026 \\ \angle AXB &= 48^{\circ}52'10'' \text{ (calculated angle, to be used later)}\end{aligned}$$

3. Bentuk matriks A (3 x 2) dari koefisien pengamatan untuk δE dan δN .

Secara umum solusinya harus mencakup ketidakpastian titik kontrol A dan B.

Namun, keduanya dianggap tetap dan oleh karena itu kami hanya mempertimbangkan ketidakpastian dalam pengukuran dari **X, vis**;

sudut **AXB**

jarak **XA**, s_{XA}

jarak **XB**, s_{XB}

Titik tetap A dan B tidak muncul dalam matriks x, dan dengan demikian tidak muncul dalam matriks A. Dari bantalan yang dihitung dan jarak dari X ke A dan B, sudut AXB dapat ditemukan sebagai selisih antara dua bantalan yang dihitung.

$$A = \begin{array}{c} \begin{array}{cc} \delta E & \delta N \end{array} \\ \begin{array}{cc} \frac{\cos \theta_{XA}}{s_{XA} \sin 1''} & \frac{\cos \theta_{XB}}{s_{XB} \sin 1''} \\ -\sin \theta_{XA} & -\cos \theta_{XA} \\ -\sin \theta_{XB} & -\sin \theta_{XB} \end{array} \end{array} = \begin{array}{cc} \delta E & \delta N \\ \begin{array}{cc} -407.5 & 397.5 \\ 0.9523 & -0.3050 \\ 0.3967 & -0.9180 \end{array} \end{array}$$

Mengevaluasi A_{11} sebagai contoh

perhatikan bahwa $\sin 1'' = 0,000004848137 = 1/206265$

$$\begin{aligned}\frac{\cos \theta_{XA}}{s_{XA} \sin 1''} - \frac{\cos \theta_{XB}}{s_{XB} \sin 1''} &= \frac{\cos(287^{\circ}45'34'')}{295.061/206265} - \frac{\cos(336^{\circ}37'44'')}{305.026/206265} = \frac{0.3050}{0.00143} - \frac{0.9179}{0.00148} \\ &= 213.228 - 620.739 \\ &= 407.511.\end{aligned}$$

4. Matriks W (bobot) adalah matriks persegi 3 x 3 dengan bobot pengamatan pada diagonalnya. Karena diasumsikan tidak berkorelasi, sisa matriks diisi dengan angka nol.

Bentuk matriks W dari simpangan baku pengamatan. Bobotnya adalah $1/\sigma^2$:

$$\begin{aligned}\sigma_{\theta} &= \pm 10'' & (\sigma_{\theta})^2 &= 100 & W_{\theta} &= 0.01 \\ \sigma_s &= \pm 0.01\text{m} & (\sigma_s)^2 &= 0.0001 & W_s &= 10,000\end{aligned}$$

$$\mathbf{W} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 10000 & 0 \\ 0 & 0 & 10000 \end{array} \end{array} \begin{array}{l} \text{refers to } \angle AXB \\ \text{refers to } s_{XA} \\ \text{refers to } s_{XB} \end{array}$$

5. Bentuk matriks b (3 x 1); matriks selisih antara pengamatan yang diamati dan yang dihitung. Pengertiannya adalah obs – calc dalam urutan yang sama dengan matriks v dan W. Satuan diubah menjadi detik dan meter.

$$\begin{array}{l}
 \text{observed } \angle AXB \quad 48^{\circ}53'15'' \\
 \text{calculated } \angle AXB \quad \underline{48^{\circ}52'10''} \\
 \text{obs} - \text{calc} = \quad \quad \quad 65'' \\
 \mathbf{b} = \begin{array}{l} \left| \begin{array}{l} 65'' \\ -0.006 \\ -0.162 \end{array} \right| \begin{array}{l} \text{refers to diff } \angle AXB \\ \text{refers to diff } s_{XA} \\ \text{refers to diff } s_{XB} \end{array} \end{array}
 \end{array}$$

6. Matriks yang tidak diketahui, matriks x (3×1), merupakan hasil dari manipulasi matriks A , W , dan b . Pembahasan ini BUKAN pelajaran tentang manipulasi matriks.

$$\hat{x} = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{b})$$

Mulailah dengan menghitung hasil perkalian $\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W}$ sebagaimana digunakan dalam kedua matriks;

$$\begin{array}{l}
 (2 \times 3) \cdot (3 \times 3) = (2 \times 3) \\
 \mathbf{A}^T \begin{array}{l} \left| \begin{array}{lll} -407.5 & 0.9523 & 0.3967 \\ 397.5 & -0.3050 & -0.9180 \end{array} \right| \cdot \mathbf{W} \left| \begin{array}{lll} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 10000 & 0 \\ 0 & 0 & 10000 \end{array} \right| \\
 \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W} \left| \begin{array}{lll} -4.075 & 9523.5 & 3966.9 \\ 3.975 & -3050.2 & -9197.5 \end{array} \right|
 \end{array}$$

Sekarang hitunglah hasil perkalian $(\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W}) \cdot \mathbf{A}$;

$$\begin{array}{l}
 (2 \times 3) \times (3 \times 2) = (2 \times 2) \\
 \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W} \left| \begin{array}{lll} -407.5 & 9523.5 & 3966.9 \\ 397.5 & -3050.2 & -9197.5 \end{array} \right| \cdot \mathbf{A} \left| \begin{array}{ll} -407.5 & 397.50 \\ 0.9523 & -0.3050 \\ 0.3967 & -0.9180 \end{array} \right| \\
 \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{A} \left| \begin{array}{ll} 12303.9 & -8166.1 \\ -8166.1 & 10936.8 \end{array} \right|
 \end{array}$$

Cara menghitung invers $(\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1}$, matriks (2×2):

$$\text{Let } (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A}) \text{ be called matrix } \mathbf{M} \left| \begin{array}{ll} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{array} \right|$$

Membagi matriks adjugat dengan determinan menghasilkan matriks invers:

$$\mathbf{M}^{-1} = (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} = \text{AdjM} / \text{detM}$$

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \left| \begin{array}{ll} 1.611^{-4} & 1.203^{-4} \\ 1.203^{-4} & 1.813^{-4} \end{array} \right|$$

Untuk memeriksa inversnya, kita tahu bahwa $\mathbf{M}^{-1} \times \mathbf{M} = \mathbf{I}$ (matriks identitas)

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \left| \begin{array}{ll} 1.611^{-4} & 1.203^{-4} \\ 1.203^{-4} & 1.813^{-4} \end{array} \right| \cdot (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A}) \left| \begin{array}{ll} 12303.9 & -8166.1 \\ -8166.1 & 10936.8 \end{array} \right| = \mathbf{I} \left| \begin{array}{ll} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{array} \right|$$

Sekarang, untuk kedua kalinya, gunakan $(\mathbf{A}^T \mathbf{W})$ untuk menghitung produk $(\mathbf{A}^T \mathbf{W}) \cdot \mathbf{b}$:

$$\begin{array}{l}
 (2 \times 3) \cdot (3 \times 1) = (2 \times 1) \\
 \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{W} \left| \begin{array}{lll} -407.5 & 0.9523 & 0.3967 \\ 397.5 & -0.3050 & -0.9180 \end{array} \right| \cdot \mathbf{b} \left| \begin{array}{l} 65.6 \\ -0.006 \\ -0.162 \end{array} \right| \\
 \mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{b} \left| \begin{array}{l} -967.9 \\ 1768.1 \end{array} \right|
 \end{array}$$

7. Matriks x merupakan hasil perkalian $(\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1}$ dan $(\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{b})$;

$$(2 \times 2) \cdot (2 \times 1) = (2 \times 1)$$

$$(\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{A})^{-1} \begin{vmatrix} 1.611^{-4} & 1.203^{-4} \\ 1.203^{-4} & 1.813^{-4} \end{vmatrix} \cdot (\mathbf{A}^T \mathbf{W} \mathbf{b}) \begin{vmatrix} -967.9 \\ 1768.1 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{x} = \begin{vmatrix} 0.057 \\ 0.204 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \delta E_X \\ \delta N_X \end{vmatrix}$$

8. **Nilai yang disesuaikan.** Kami mulai dengan mengatakan bahwa nilai koordinat X yang paling mungkin adalah:

$$E_X = e_X + \delta E_X$$

$$N_X = n_X + \delta N_X$$

Dari koordinat awal yang diestimasi, tambahkan kesalahan untuk menemukan koordinat yang disesuaikan:

$$\mathbf{E}_X = 1281 + 0.057 = \mathbf{1281.057}$$

$$\mathbf{N}_X = 4910 + 0.204 = \mathbf{4910.204}$$

9. Matriks residual \mathbf{v} didefinisikan oleh: $\mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{b}$;

$$(3 \times 2) \cdot (2 \times 1) = (3 \times 1) - (3 \times 1)$$

$$\mathbf{A} \begin{vmatrix} -407.5 & 397.5 \\ 0.9523 & -0.3050 \\ 0.3967 & -0.9180 \end{vmatrix} \mathbf{x} \begin{vmatrix} 0.057 \\ -0.204 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{Ax} \begin{vmatrix} 58.0'' \\ -0.0082 \\ -0.1648 \end{vmatrix} - \mathbf{b} \begin{vmatrix} 65.6'' \\ -0.006 \\ -0.162 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{v} = \begin{vmatrix} -7.6'' \\ -0.0022 \\ -0.0026 \end{vmatrix} \begin{matrix} \text{residual } \angle \text{AXB} \\ \text{residual XA} \\ \text{residual XB} \end{matrix}$$

10. Sekarang kita harus melihat kualitas penyesuaian dengan memeriksa kesalahan standar bobot satuan. Hal ini memungkinkan pemeriksaan terhadap kesalahan, dan juga penilaian apakah bobot yang ditetapkan untuk penyesuaian sudah tepat. Faktor varians σ_0^2 adalah jumlah kuadrat tertimbang dari residual ($\sum(w_i V_i^2)$) dibagi dengan derajat kebebasan ($m - n$)

$$\sigma_0^2 \text{ juga dapat didefinisikan: } \hat{\sigma}_0^2 = \mathbf{v}^T \mathbf{W} \mathbf{v} / (\mathbf{m} - \mathbf{n})$$

m = jumlah observasi, n = jumlah parameter

$$\mathbf{v}^T \begin{vmatrix} -7.6 & -0.0022 & -0.0026 \end{vmatrix} \cdot \mathbf{W} \begin{vmatrix} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 10000 & 0 \\ 0 & 0 & 10000 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{v}^T \mathbf{W} \begin{vmatrix} -0.0758 & -21.76 & -25.57 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{v}^T \mathbf{W} \begin{vmatrix} -0.0758 & -21.76 & -25.57 \end{vmatrix} \cdot \mathbf{v} \begin{vmatrix} -7.6 \\ -0.0022 \\ -0.0026 \end{vmatrix}$$

$$\sigma_0^2 \begin{vmatrix} 0.6866 \end{vmatrix}$$

Derajat kebebasan

m = jumlah observasi = 3,

n = jumlah parameter = 2

$m - n = 1$ derajat kebebasan

Jadi $\sigma_0^2 = 0,6866$ dan $\sigma_0 = 0,83$, yang merupakan angka yang dapat diterima untuk kesalahan standar.

11. Matriks varians-kovarians merupakan indikasi apakah berbagai elemen di luar diagonal penyesuaian menunjukkan korelasi antara satu sama lain. Dengan memeriksa diagonal atas dari kebalikan matriks persamaan normal, $(A^TWA)^{-1}$ kita dapat menemukan varians parameter pada diagonal, dan kovariansi di luar diagonal.

$$(A^TWA)^{-1} \begin{vmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1.611^{-4} & 1.203^{-4} \\ 1.203^{-4} & 1.813^{-4} \end{vmatrix}$$

Koefisien korelasi antara dua parameter dapat ditemukan dari:

$$r_{ij} = \sigma_{ij} / (\sigma_{ii} \sigma_{jj})$$

$$r_{ij} = \begin{vmatrix} \sigma_1 & \sigma_{12} \\ \sigma_2 & \sigma_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.013 & 0.704 \\ & 0.013 \end{vmatrix}$$

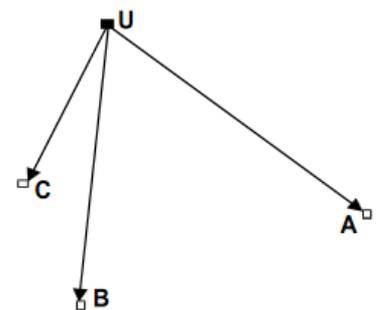
12. Setelah koordinat awal disesuaikan, kita memiliki estimasi koordinat yang lebih baik. Dengan mengulangi, memasukkan kembali koordinat yang disesuaikan di awal latihan, serangkaian koordinat baru yang disesuaikan dapat ditemukan. Pengulangan terus berlanjut hingga penyesuaian bertemu sehingga "peningkatan" dalam koordinat menjadi stabil. Dengan menggunakan $E_x = 1281.057$, $N_x = 4910.204$ sebagai estimasi baru untuk penyesuaian menghasilkan koordinat "yang ditingkatkan" berikut: $E_x = 1281.057$, $N_x = 4910.204$, yang tidak menunjukkan perubahan. Hasil ini diharapkan dengan pengukuran yang akurat dan estimasi awal yang baik. Faktor lainnya adalah hanya ada satu derajat kebebasan, jadi hampir tidak ada penentuan yang berlebihan.

12.6 SOLUSI KUADRAT TERKECIL DARI MASALAH TRILATERASI YANG DITENTUKAN BERLEBIH

Koordinat bidang dari pengamatan jarak juga dikenal sebagai "Perpotongan berdasarkan jarak." Menjelaskan penyesuaian koordinat perpotongan dengan solusi kuadrat terkecil. Pengamatan dua jarak dari titik kontrol yang tidak diketahui ke dua titik yang diketahui menghasilkan solusi unik untuk posisi bidang titik. Hanya diperlukan dua pengamatan, jarak, untuk menghasilkan dua yang tidak diketahui, koordinat di E dan N.

Jika lebih banyak pengamatan jarak dilakukan, katakanlah ke titik ketiga yang diketahui, maka ada tiga (3) pengamatan untuk dua yang tidak diketahui. Sistem tersebut ditentukan berlebihan (yaitu, lebih banyak pengamatan daripada yang tidak diketahui). Pengamatan ketiga (jarak), bersama dengan salah satu jarak lainnya, dapat digunakan untuk memeriksa jawaban pertama. Secara keseluruhan, kita dapat memperoleh tiga set koordinat untuk titik yang sama menggunakan tiga pasangan kombinatorial jarak yang diamati, - ini dapat menjadi cara yang "mudah", mengingat kesederhanaan perhitungannya.

Sebagai contoh, pengamatan pada 3 titik kontrol (Gambar 12.10) menghasilkan hasil berikut:



Gambar 12.10 Trilaterasi

- Lihat Bagian 6.3:

Point	Fixed coordinates		Measured horizontal distance, I , from U.
	E	N	
A	1188.113	5333.960	152.420m
B	1069.120	5290.789	138.580m
C	1046.174	5348.466	84.110m

- Tiga set koordinat yang dihitung untuk titik U yang tidak diketahui, menggunakan pasangan jarak UA, UB; UA, UC dan UB, UC adalah:

$$\begin{array}{cc|cc|cc} U_{AB} & & U_{AC} & & U_{BC} & \\ U_{E1} & U_{N1} & U_{E2} & U_{N2} & U_{E3} & U_{N3} \\ 1069.248 & 5429.369 & 1069.235 & 5429.353 & 1069.178 & 5429.369 \end{array}$$

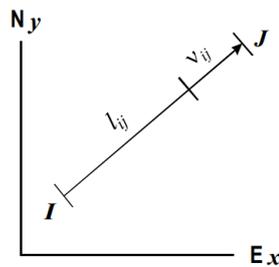
- Rata-rata pengamatan dari U adalah:

$$\begin{array}{cc} U_E & U_N \\ 1069.220 & 5429.364 \end{array} \quad \text{with a standard deviation of:} \quad \begin{array}{cc} S_E & S_N \\ 0.037 & 0.009. \end{array}$$

Apakah ada cara yang lebih baik untuk melakukan ini, yang memungkinkan kita menemukan nilai "paling mungkin" dari titik yang tidak diketahui, U? Sekali lagi, kita atasi masalah tersebut dengan solusi kuadrat terkecil dengan menggunakan persamaan observasi pengukuran (observasi) untuk menghasilkan jawaban yang meminimalkan jumlah kuadrat residual.

- Ini adalah solusi matriks normal yang kita cari:

$A \cdot x = b + v$, tampak serupa dan diselesaikan menggunakan teknik manipulasi matriks yang sama yang digunakan sebelumnya, tetapi dengan fungsi non-linier. Karena kita menggunakan jarak (trilaterasi) untuk menemukan koordinat U, kesalahan dalam jarak harus diminimalkan.



Gambar 12.11 Kesalahan Panjang Garis

Untuk setiap garis, IJ , ada jarak yang diamati, l_{ij} , ditambah residual terkaitnya v_{ij} , (lihat Gambar 2.11).

- Dengan trigonometri bidang, berlaku bahwa: (Persamaan 12.1)

$$l_{ij} + v_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

Persamaan 1.1 adalah fungsi non-linier dengan parameter yang tidak diketahui:

$$x_i, y_i, x_j, y_j$$

dan fungsinya dapat dinyatakan sebagai: (Persamaan 12.2)

$$F(x_i, y_i, x_j, y_j) = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

- Persamaan 12.2 dapat dilinearisasi dan diselesaikan dengan perluasan deret Taylor orde pertama dengan mencari turunan parsial dari elemen-elemen fungsi: pada dasarnya, fungsi akhir = fungsi awal + koreksi

$$F() = F()_0 + d(F)$$

Persamaan 12.3

$$F(x_i, y_i, x_j, y_j) = F(x_{i0}, y_{i0}, x_{j0}, y_{j0}) = \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_0 dx_i + \left(\frac{\partial F}{\partial y_i} \right)_0 dy_i + \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)_0 dx_j + \left(\frac{\partial F}{\partial y_j} \right)_0 dy_j$$

Persamaan 12.4

Thus, for the start coordinates, $i: x_i = x_{i0} + dx_i \quad y_i = y_{i0} + dy_i$

and, for the end coordinates, $j: x_j = x_{j0} + dx_j \quad y_j = y_{j0} + dy_j$

Mengevaluasi turunan parsial diilustrasikan menggunakan $\partial F / \partial x_i$, menggunakan Persamaan 12.2,

$$F(x_i, y_i, x_j, y_j) = \left[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- Turunan parsial terhadap x_i adalah: (Persamaan 12.5)

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right) = \frac{1}{2} \left[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[2(x_j - x_i)(-1) \right]$$

Persamaan 12.6:

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = \frac{-2(x_j - x_i)}{2 \left[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} = \frac{-(x_j - x_i)}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}} = \frac{(x_i - x_j)}{IJ}$$

$$\text{and, similarly, } \frac{\partial F}{\partial y_i} = \frac{(y_i - y_j)}{IJ}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right) = \frac{1}{2} \left[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[2(x_j - x_i)(+1) \right],$$

Persamaan 12.7

$$= \frac{(x_j - x_i)}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}}$$

Persamaan 12.8

$$\left(\frac{(x_i - x_j)}{IJ} \right)_0 dx_i + \left(\frac{(y_i - y_j)}{IJ} \right)_0 dy_i + \left(\frac{(x_j - x_i)}{IJ} \right)_0 dx_j + \left(\frac{(y_j - y_i)}{IJ} \right)_0 dy_j = k_l + v_l$$

Sekarang parameter awal dihitung menggunakan nilai perkiraan (awal), $k_l = i_{ij} - IJ_0$

Persamaan 12.9

$$IJ_0 = F(x_{i0}, y_{i0}, x_{j0}, y_{j0}) = \sqrt{(x_{j0} - x_{i0})^2 + (y_{j0} - y_{i0})^2}$$

Iterasi Pertama, i_0 ,

Dimulai dengan estimasi $\mathbf{Ax}=\mathbf{b}+\mathbf{v}$. U awal adalah $U_{e0} = 1069.220$, $U_{n0} = 5429.364$ Pada iterasi pertama, karena kita telah menggunakan dua jarak terukur untuk menentukan koordinat perkiraan U, kita dapat mengatakan bahwa $k_l = i_{ij} - IJ_0 = 0$ dengan, dalam kasus ini, $k_l =$ selisih antara jarak terukur dan terhitung ke titik ketiga (yang ditentukan lebih). Titik

U ditentukan oleh jarak AU dan BU. CU adalah jarak yang ditentukan lebih. Dan karena kita telah mengubah fungsi non-linier menjadi fungsi linier dengan ekspansi Taylor, kita dapat menggunakan metode matriks linier normal untuk penyelesaian penyesuaian kuadrat terkecil.

$$\mathbf{A} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} \frac{x_U - x_A}{AU} & \frac{y_U - y_A}{AU} \\ \frac{x_U - x_B}{BU} & \frac{y_U - y_B}{BU} \\ \frac{x_U - x_C}{CU} & \frac{y_U - y_C}{CU} \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 1069.22 - 1188.113 & 5429.364 - 5333.960 \\ 152.42 & 152.42 \\ 1069.22 - 1069.120 & 5429.364 - 5290.783 \\ 138.580 & 138.580 \\ 1069.22 - 1046.174 & 5429.364 - 5348.466 \\ 84.110 & 84.110 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} -0.78004 & 0.62593 \\ 0.00072 & 0.99996 \\ 0.27400 & 0.96181 \end{array} \right| \end{array}$$

Matriks b jarak residual. Jarak AU dan BU menghitung posisi U, sehingga kesalahan awal adalah 0,000 dan $l_{CU} - CU_0$ adalah (diukur - dihitung) = - 0,007

$$\mathbf{b} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} l_{AU} - AU_0 \\ l_{BU} - BU_0 \\ l_{CU} - CU_0 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 154.420 - 154.420 \\ 138.580 - 138.580 \\ 84.110 - 84.117 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 0.000 \\ 0.000 \\ -0.007 \end{array} \right| \end{array}$$

Normalisasikan matriks: $\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{b}$

Pecahkan untuk $\mathbf{x} \mathbf{0} = ((\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1}) \mathbf{A}^T \mathbf{b}$, uraikan masalahnya:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 0.6835 & -0.2240 \\ -0.2240 & 2.3168 \end{array} \right| \left((\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \right) \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 1.51086 & 0.14607 \\ 0.14607 & 0.44575 \end{array} \right| \mathbf{A}^T \mathbf{b} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} -0.0019 \\ -0.0067 \end{array} \right| \mathbf{x} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} -0.0039 \\ -0.0033 \end{array} \right| \end{array}$$

Pada akhir iterasi pertama, koordinat U menjadi, seperti $U_1 = (E_0 + x_{E1}, N_0 + x_{N1})$

$$1069.220 + (-0.0039) = 1069.2161$$

$$5429.364 + (-0.0033) = 5429.3607$$

Iterasi Kedua, i_1 : Jalankan iterasi kedua, di mana sekarang, dengan menggunakan koordinat iterasi U_1 sebagai nilai awal:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 1069.2161 - 1188.113 & 5429.3607 - 5333.960 \\ 152.42 & 152.42 \\ 5429.3607 - 1069.120 & 5429.3607 - 5290.783 \\ 138.580 & 138.580 \\ 5429.3607 - 1046.174 & 5429.3607 - 5348.466 \\ 84.110 & 84.110 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} -0.78006 & 0.62591 \\ 0.00069 & 0.99998 \\ 0.27395 & 0.96177 \end{array} \right| \end{array}$$

Dengan menggunakan koordinat baru untuk U, jarak AU_1 , BU_1 , dan CU_1 dihitung (3DP) untuk membuat matriks b:

$$AU_1 = 152,439$$

$$BU_1 = 138,578$$

$$CU_1 = 84,112$$

$$\mathbf{b}_1 = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} l_{AU} - AU_1 \\ l_{BU} - BU_1 \\ l_{CU} - CU_1 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 154.420 - 154.439 \\ 138.580 - 138.578 \\ 84.110 - 84.112 \end{array} \right| = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} -0.019 \\ 0.002 \\ -0.002 \end{array} \right| \end{array}$$

Matriks yang dinormalkan: $\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{b}$

Dipecahkan lagi untuk $\mathbf{x} \mathbf{x}1 = ((\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1}) \mathbf{A}^T \mathbf{b}$, uraikan masalahnya menjadi:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 0.6836 & -0.2241 \\ -0.2241 & 2.3167 \end{array} \right| \left((\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \right) \begin{array}{c} \left| \begin{array}{cc} 1.51086 & 0.14613 \\ 0.14613 & 0.44575 \end{array} \right| \mathbf{A}^T \mathbf{b} \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 0.0145 \\ -0.0122 \end{array} \right| \mathbf{x} = \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 0.0201 \\ -0.0033 \end{array} \right| \end{array}$$

Pada akhir iterasi kedua, koordinat U menjadi, seperti $U_2 = (E_1 + x_{E2}, N_1 + x_{N2})$

$$1069.2161 + (0.0201) = 1069.2362$$

$$5429.3607 + (-0.0033) = 5429.3574$$

Iterasi Ketiga, i_3 : Jalankan iterasi ketiga, di mana sekarang, gunakan koordinat iterasi U_2 sebagai nilai awal:

$$A_1 \begin{array}{|c|c|} \hline \frac{1069.2362 - 1188.113}{152.42} & \frac{5429.3574 - 5333.960}{152.42} \\ \hline \frac{1069.2362 - 1069.120}{138.580} & \frac{5429.3574 - 5290.783}{138.580} \\ \hline \frac{1069.2362 - 1046.174}{84.110} & \frac{5429.3574 - 5348.466}{84.110} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline -0.77993 & 0.62589 \\ \hline 0.00084 & 0.99996 \\ \hline 0.27419 & 0.96173 \\ \hline \end{array}$$

Dengan menggunakan koordinat baru untuk U, jarak AU_1 , BU_1 , dan CU_1 dihitung (3DP) untuk membuat matriks b:

$$AU_1 = 152,422$$

$$BU_1 = 138,574$$

$$CU_1 = 84,115$$

$$b_1 = \begin{array}{|c|} \hline l_{AU} - AU_2 \\ \hline l_{BU} - BU_2 \\ \hline l_{CU} - CU_2 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 154.420 - 154.439 \\ \hline 138.580 - 138.575 \\ \hline 84.110 - 84.112 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -0.002 \\ \hline 0.006 \\ \hline -0.005 \\ \hline \end{array}$$

Matriks yang dinormalkan: $A^T A x = A^T b$

Dipecahkan lagi untuk $x_1 = ((A^T A)^{-1}) A^T b$, uraikan masalahnya menjadi:

$$A^T A \begin{array}{|c|c|} \hline 0.6836 & -0.2236 \\ \hline -0.2236 & 2.3167 \\ \hline \end{array} ((A^T A)^{-1}) \begin{array}{|c|c|} \hline 1.51083 & 0.14582 \\ \hline 0.14583 & 0.44573 \\ \hline \end{array} A^T b \begin{array}{|c|c|} \hline -3.5E^{-6} \\ \hline -3.2E^{-6} \\ \hline \end{array} x = \begin{array}{|c|c|} \hline -5.7E^{-6} \\ \hline -1.9E^{-6} \\ \hline \end{array}$$

Pada akhir iterasi kedua, koordinat U menjadi, seperti $U_2 = (E_1 + x_{E3}, N_1 + x_{N3})$

$$1069.2162 + (-0.0000) = 1069.2362 \text{ di mana kita dapat berhenti, karena jarak}$$

$$5429.3574 + (-0.0000) = 5429.3574 \text{ residualnya sangat kecil.}$$

Koordinat turunan kuadrat terkecil akhir. Estimasi terbaik untuk U adalah:

$$E_U \quad \mathbf{1069.236}$$

$$N_U \quad \mathbf{5429.357}$$

Hitung jarak dari U untuk residual dari koordinat akhir:

Residual jarak, vs

$$v = \begin{array}{|c|} \hline l_{AU} - AU_F \\ \hline l_{BU} - BU_F \\ \hline l_{CU} - CU_F \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 154.420 - 154.422 \\ \hline 138.580 - 138.568 \\ \hline 84.110 - 84.115 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -0.002 \\ \hline 0.012 \\ \hline -0.005 \\ \hline \end{array} \quad v^2 = \begin{array}{|c|} \hline 2.7E^{-6} \\ \hline 1.3E^{-4} \\ \hline 2.2E^{-5} \\ \hline \end{array}$$

$$\Sigma v^2 = S_0^2 = 0.00016, \text{ thus } S_0 = \pm 0.013.$$

Ringkasan

Bab ini menyajikan keterampilan dan teknik yang dapat Anda gunakan untuk mengubah koordinat dari satu sistem ke sistem lain melalui penerapan solusi kuadrat terkecil. Teknik efisien lainnya untuk memperoleh parameter transformasi meliputi, misalnya, metode Procrustes yang memecahkan sistem yang ditentukan lebih dalam bentuk tertutup. Secara umum, dengan meningkatnya penggunaan GNSS untuk teknik sipil dan operasi pertambangan modern mengharuskan siswa dilengkapi dengan pengetahuan dan keterampilan untuk mengubah koordinat tersebut menjadi sistem lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Rahman, H., & Wang, M. (2020). *Project management for construction: Fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders*. Wiley.
- Ahuja, H. N., & Young, C. D. (2017). *Project management in construction: A guide for engineers and architects*. Prentice Hall.
- Amadeo, R., & Pantelides, C. (2021). *Structural project management: Principles and applications*. Pearson Education.
- Anggoro, S. W. (2018). *Manajemen biaya dalam proyek konstruksi sipil*. Pustaka Jaya.
- Baharuddin, A., & Kurniawan, Y. (2018). *Teknik konstruksi sipil: Teori dan aplikasi dalam dunia industri*. Graha Ilmu.
- Baker, S., & Norris, J. (2019). *Construction project management: A practical guide to the successful management of construction projects*. Routledge.
- Balamurugan, R. (2019). *Advanced construction technology*. Elsevier.
- Barrett, P., & Howard, R. (2021). *Civil engineering project management: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Burgess, T., & Harker, J. (2019). *Managing civil engineering projects: Principles and strategies for successful execution*. McGraw-Hill Education.
- Chandra, R. (2019). *Manajemen konstruksi: Prinsip dan aplikasi dalam proyek teknik sipil*. Salemba Empat.
- Cheng, M., & Kumar, D. (2020). *Construction project management in civil engineering: A systems approach*. Wiley-Blackwell.
- Clever, G., & Johnson, D. (2018). *Civil engineering project delivery systems: A practical guide*. Elsevier.
- Crawford, P., & Morris, P. (2017). *Project management in civil engineering: Managing complex projects*. Routledge.
- Dissanayaka, M. S., & Jayawardena, A. (2020). *Project planning and management in civil engineering*. Springer.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Wiley.
- Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2019). *Project management for civil engineers: Leading and managing successful projects*. Wiley.

- Freeman, S., & Sharif, M. (2020). *Engineering management for civil engineers: A complete guide*. Springer.
- Freeman, T., & Dunlap, W. (2017). *Construction project management: A strategic approach*. McGraw-Hill.
- Galloway, J., & Kaplan, G. (2018). *The complete guide to managing civil engineering projects*. CRC Press.
- Gibson, G., & Dossett, C. (2020). *Quality management in construction projects*. Routledge.
- Goodman, L. D., & Davidson, J. S. (2018). *Risk management in construction projects*. Wiley.
- Gosling, P., & Greenfield, C. (2021). *Construction project management: Managing risks and resources in civil engineering projects*. Pearson.
- Hall, M., & Osbourn, B. (2020). *Project risk management for civil engineers*. McGraw-Hill Education.
- Harris, F., & McCaffer, R. (2020). *Modern construction management*. Wiley-Blackwell.
- Hartley, T., & Love, P. E. D. (2019). *Sustainable civil engineering: Managing projects in the 21st century*. Taylor & Francis.
- Hartman, F. T., & Molenaar, K. R. (2017). *Construction management: Principles and practice*. Pearson.
- Hendrickson, C., & Au, T. (2018). *Project management for civil engineering projects: An integrated approach*. Prentice Hall.
- Hwang, B., & Ng, W. J. (2019). *Project management for construction professionals*. CRC Press.
- Indrayanto, R. (2020). *Manajemen proyek konstruksi: Teori dan aplikasi dalam proyek teknik sipil*. Universitas Gadjah Mada Press.
- Jayaraman, S. (2018). *Construction engineering and management: A multidisciplinary approach*. CRC Press.
- Kaming, P. A. (2019). *Proyek konstruksi: Strategi pengelolaan dan kontrol kualitas*. Universitas Indonesia Press.
- Khaled, N., & Farooq, M. (2020). *Sustainable project management in civil engineering*. Springer.
- Koskela, L., & Howell, G. (2020). *Project delivery in civil engineering: New approaches to enhancing project success*. Routledge.
- Kusuma, D., & Widodo, S. (2020). *Proyek teknik sipil: Pendekatan manajemen berbasis risiko*. Pustaka Pelajar.
- La Torre, R., & Schmidt, H. (2021). *Project management in civil engineering*. Routledge.

- Levy, M. J., & Wessel, T. (2021). *Construction law for engineers and project managers*. Wiley-Blackwell.
- Li, H., & Cheng, E. W. (2021). *Construction project procurement strategies*. Wiley.
- Lindahl, B., & Asplund, M. (2017). *Managing construction projects: Best practices in civil engineering*. Springer.
- Liu, A. M. M., & Lam, K. C. (2019). *Project procurement and management in civil engineering*. Wiley.
- Loh, W., & Wu, H. (2018). *Construction scheduling and management*. Wiley.
- Mahamid, I. (2020). *Construction project monitoring and control*. Springer.
- Mariani, D. (2019). *Manajemen kualitas dalam proyek teknik sipil*. Gajah Mada University Press.
- Miller, D., & Lichtenstein, B. (2020). *Managing construction projects: A guide to achieving project success*. Routledge.
- Miller, J., & Reilly, D. (2020). *Advanced project management in civil engineering: Concepts, methods, and techniques*. Elsevier.
- Moe, T., & Wicks, P. (2018). *Civil engineering project monitoring and control techniques*. Springer.
- Molenaar, K. R., & Hartman, F. T. (2018). *Construction project control*. Prentice Hall.
- Molenaar, K. R., & Hartman, F. T. (2020). *Construction project control systems and techniques in civil engineering*. Pearson Education.
- Murdoch, J., & Hughes, W. (2018). *Construction contracts: Law and management*. Taylor & Francis.
- Murphy, S., & Hutchinson, J. (2017). *Construction cost estimating and management*. Pearson.
- Nakajima, Y., & Nishimura, T. (2020). *Fundamentals of civil engineering project planning and control*. McGraw-Hill.
- Nurwati, D. (2017). *Perencanaan dan pengendalian proyek konstruksi: Perspektif teknik sipil*. Elex Media Komputindo.
- O'Brien, W. J., & Pritchard, M. R. (2020). *Construction project engineering and management*. Prentice Hall.
- O'Connor, J., & Price, D. (2017). *Managing large civil engineering projects: Challenges and solutions*. Wiley.
- Ofori, G. (2021). *Construction management and economics: Principles and practices*. Taylor & Francis.

- O'Hara, M., & Stevenson, G. (2021). *Engineering project management in civil construction*. Prentice Hall.
- Peck, D., & Sullivan, A. (2019). *Construction project management in civil engineering: Approaches to risk and resource management*. Routledge.
- Pinto, J. K., & Slevin, D. P. (2020). *Project management in civil engineering: The art and science of project delivery*. Pearson.
- Prahmana, P. (2016). *Manajemen risiko dalam proyek teknik sipil: Pendekatan praktis*. Andi Publisher.
- Prahmana, P., & Arifin, S. (2021). *Risk management strategies in civil engineering projects*. Pustaka Pelajar.
- Prayoga, B., & Ginting, S. (2020). *Prinsip-prinsip manajemen proyek konstruksi dalam teknik sipil*. Pustaka Rakyat.
- Pringle, M. (2021). *Managing the construction project lifecycle*. McGraw-Hill Education.
- Ramos, M., & Roos, R. (2019). *Construction cost management: Learning from case studies*. Routledge.
- Ramos, R., & White, G. (2020). *Construction project finance and cost control in civil engineering*. CRC Press.
- Rao, S., & Madhu, A. (2020). *The dynamics of construction project management*. CRC Press.
- Reid, D., & Sawyer, C. (2019). *Introduction to civil engineering project management*. Pearson.
- Robinson, G., & Johnson, R. (2021). *Engineering project success: Principles for managing civil projects*. McGraw-Hill.
- Roy, M. (2021). *Principles of construction management and planning*. Springer.
- Santos, R., & Varela, A. (2018). *Innovation and technology in civil engineering project management*. Elsevier.
- Sasmito, H., & Wijaya, P. (2018). *Teknik manajemen proyek konstruksi untuk teknik sipil*. Elex Media.
- Schilling, M. A. (2021). *Strategic management of technological innovation*. McGraw-Hill Education.
- Schilling, M. A., & Korman, T. (2020). *Strategic project management for civil engineers*. Routledge.
- Sharma, M., & Agarwal, S. (2020). *Managing construction quality in civil engineering projects*. Springer.

- Sukirman, M., & Syamsudin, E. (2019). *Manajemen proyek konstruksi di Indonesia: Dari perencanaan hingga pelaksanaan*. Salemba Empat.
- Sullivan, K., & Hwang, B. (2019). *Construction project scheduling and control: Techniques for civil engineers*. Wiley.
- Tavares, L. (2020). *Technology in construction project management*. Elsevier.
- Tavares, L., & Pereira, J. (2020). *Project management in civil engineering: Current practices and future trends*. Elsevier.
- Thomson, G., & Taylor, S. (2021). *Project management for civil engineers: Integrating theory and practice*. CRC Press.
- Wang, S., & Korman, T. (2017). *Advanced construction project management*. Wiley.
- Wright, J., & Case, J. (2019). *Construction project risk management: From theory to practice*. Wiley.
- Wright, J., & Thomas, H. (2019). *Managing risk in civil engineering projects: Tools and techniques*. Wiley-Blackwell.
- Zhang, L., & Zhang, H. (2020). *Civil engineering project delivery systems and processes*. Wiley.

MANAJEMEN PROYEK TEKNIK SIPIL

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM.

BIO DATA PENULIS



Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang. dan dari Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) Salatiga. Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen, ilmu sosiologi dan ilmu hukum. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik), Ilmu Perpajakan.

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK. Sejak tahun 2023 penulis tercatat sebagai Dosen luar biasa di Fakultas Ekonomi & Bisnis (FEB) Universitas Diponegoro Semarang. Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.



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 978-623-8642-51-9 (PDF)

