



TELEKOMUNIKASI DIGITAL **5G**



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

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

TELEKOMUNIKASI DIGITAL

5G 4G 3G

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 Salatiga (UKSW) Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. 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).

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.

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 978-623-6141-66-3



9 786236 141663

TELEKOMUNIKASI DIGITAL

5G

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



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

TELEKOMUNIKASI DIGITAL 5G

Penulis :

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

ISBN : 9 786236 141663

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 Yudianto

Penebit :

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

Redaksi :

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : penerbit_ypat@stekom.ac.id

Distributor Tunggal :

Universitas STEKOM

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : info@stekom.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Esa bahwa pada akhirnya buku yang berjudul **“Telekomunikasi Digital 5G”** telah selesai. Hadirnya koneksi jaringan generasi kelima (5G), merupakan evolusi dari jaringan internet cepat 4G LTE (Long Term Evolution), yang saat ini banyak diadopsi pada smartphone. Hadirnya jaringan 5G menawarkan internet nirkabel yang lebih cepat untuk berbagai keperluan. Jaringan 5G akan mempersingkat waktu mengunduh film, game, perangkat lunak, dan berbagai konten lainnya. Dengan koneksi 5G, kecepatan internet bisa mencapai 4 Gigabits per second. Kecepatan itu setara 500 Megabytes per second yang membuat pengguna bisa mengunduh game berkapasitas 50 GB dalam waktu kurang dari 2 menit. Pengguna juga bisa mengunduh film beresolusi 4K 100GB kurang dari empat menit. Kecepatan internet 1 Gbps yang ditawarkan operator penyedia jasa internet sangat mahal dan butuh biaya infrastruktur untuk pemasangan kabel fiber optik. Kecepatan internet nirkabel 5G tidak akan semahal internet rumah, sebab tidak membutuhkan pemasangan infrastruktur fiber optik ke rumah. Pita-pita frekuensi di lapisan *low band* dan *middle band* seperti pita 700 MHz, 2,6 GHz, dan 3,5 GHz lebih sesuai untuk dimanfaatkan sebagai layanan 5G *Mobile Broadband*. Lapisan High Band yang dikenal sebagai Super Data Layer atau milimeter Wave Band, meliputi pita frekuensi tinggi di atas 6 Giga Hertz, digunakan untuk mendukung otomatisasi sektor industri dan memperkuat penetrasi fixed broadband.

Buku ini juga mengupas keunggulan jaringan 5G untuk mendorong pertumbuhan *digital connectivity*, *digital platform*, dan *digital services* di Indonesia serta pengembangan solusi teknologi masa depan seperti *artificial intelligence*, *cloud computing*, dan *Internet of Things*. Pada buku ini juga dijelaskan bagaimana cara mengoptimalkan dan memanfaatkan jaringan 5G untuk UMKM dan industri pada lintas sektor seperti kesehatan, logistik, manufaktur, pertanian, pertambangan, dan lain-lain, melalui solusi yang tepat dan memungkinkan kita bekerja dengan cara kerja baru yang dapat meningkatkan produktivitas yang lebih tinggi dan inovasi yang lebih besar. Saat ini jaringan 5G dari Telkomsel yang ada di wilayah tertentu telah mengubah cara masyarakat belajar, bekerja, berbelanja, menikmati hiburan digital, hingga mengakses layanan kesehatan berbasis teknologi menjadi lebih mudah dan efisien.

Perangkat yang mendukung ekosistem layanan Telkomsel 5G adalah perangkat dengan kemampuan teknologi 5G NSA (non-standalone) pada frekuensi 2300 MHz, di antaranya adalah Handphone Oppo Reno5 5G, Huawei Mate 40, Vivo X60 dan Vivo X60 Pro. Pada tahap awal ini, para pengguna perlu melakukan proses penyesuaian perangkat lunak (*software smartphone*) agar HP nya dapat terhubung dengan layanan Telkomsel 5G, yang prosedurnya akan disediakan oleh masing-masing produsen *smartphone* serta menggunakan kartu bertipe uSIM (kartu SIM 4G).

Buku ini juga membahas teknologi 5G yang memungkinkan perangkat lebih mudah terkoneksi satu dengan yang lain, serta munculnya aplikasi baru seperti mobil tanpa kemudi, dikendalikan dari jarak jauh, Virtual Reality (VR), dan hiburan berbasis VR. Aplikasi dalam teknologi 5G dapat memenuhi berbagai skenario termasuk sistem drone dan otomasi robot industri. Bagian terpenting dari koneksi 5G adalah kemampuannya menghadirkan VR dan Artificial Intelligence atau AI (kecerdasan buatan). Jaringan 5G ini mampu menghubungkan mesin ke mesin (M2M), dan membawa Internet of Things (IoT) atau benda-benda yang terkoneksi ke dalam jejaring internet. Selain itu, 5G juga memberikan pengalaman Mobile Broadband (MBB) melalui pemenuhan kriteria spektrum tingkat tinggi dan jumlah koneksi yang banyak, serta latensi yang sangat rendah dengan kisaran 1 mili detik, yang memungkinkan operator untuk memberikan lebih banyak koneksi Mobile Network of Things (MoT).

Semoga buku ini memberikan manfaat kepada para pembaca dan mahasiswa untuk belajar teknologi masa depan yang akan mengubah jaman.

Semarang, 20 Juni 2021.

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

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	viii
BAB 1 PENGANTAR TEKNOLOGI 5 G	1
1.1 Evolusi Telepon Seluler	1
1.2 Telepon Seluler Berbasis Hexagon	1
1.3 Gambaran Manuskrip	7
1.4 Referensi	8
BAGIAN I	
BAB 2 PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PENELITIAN	9
2.1 Riset Dasar versus Riset Terapan	9
2.2 R & D dalam ICT	10
2.3 R & D dalam Telekomunikasi	11
2.4 Proses R & D dalam Telekomunikasi	13
2.5 Penguatan Ekosistem R & D ICT	14
2.6 Contoh	15
2.7 Sugesti Level Tinggi	15
2.8 Kesimpulan	16
2.9 Pertanyaan	16
2.10 Referensi	17
BAB 3 SPEKTRUM FREKUENSI RADIO	19
3.1 Spektrum Radio dan Komunikasi Seluler	19
3.2 Identifikasi dan Alokasi Frekuensi	20
3.3 Kebutuhan Spektrum frekuensi 5G	22
3.4 Solusi Teknikal	23
3.5 Aspek Finansial	26
3.6 Nilai Ekonomi Spektrum	27
3.7 Kesimpulan	28
3.8 Pertanyaan	28
3.9 Referensi	29
BAGIAN II	
BAB 4 STANDARISASI	30
4.1 Kunci SDO dan Proses Standarisasinya	31
4.2 3GPP	31
4.3 IEEE-SA	38
4.4 ITU-T	40
4.5 ITU-R	42
4.6 IETF	42
4.7 SDO Regional Utama	43
4.8 Forum Industri Utama dan Perannya	43
4.9 Standarisasi 5G	43
4.10 Pedoman ITU-T untuk Mendirikan SDO di Negara Berkembang	47
4.11 Sekretariat Standarisasi Nasional	48

4.12	Evolusi NSS	48
4.13	Sorotan Laporan Tambahan	49
4.14	Studi Kasus Penelitian dan Standardisasi di Negara Anggota OIC	58
4.15	Pendekatan Kolektif-COMSTECH	59
4.16	Catatan Akhir-Studi Kasus	59
4.17	Kesimpulan	60
4.18	Pertanyaan	60
4.19	Referensi	60
BAB 5	KONSEP 5G	62
5.1	Apa itu 5G?	62
5.2	Skenario Penggunaan dan Tujuan 5G	63
5.3	Aktivitas 5G	64
5.4	Metode Akses Channel/Dalam Antarmuka Udara	66
5.5	Konsep Fundamental	68
5.6	Akses Multipel/Bentuk Gelombang	69
5.7	Radio Kognitif	74
5.8	Manajemen Spektrum	77
5.9	Aspek Regulator	79
5.10	Sentralisasi Besar-besaran RAN	80
5.11	RAN Terpusat / Cloud RAN	80
5.12	Keuntungan Utama	82
5.13	Tantangan Utama	82
5.14	Status Pasar / Forecast	83
5.15	Komunikasi Kendaraan	83
5.16	Dari V2V ke V2X	84
5.17	Standar Utama	87
5.18	Arsitektur VC	88
5.19	Kasus penggunaan V2X	89
5.20	Tantangan VC	90
5.21	Aspek Regulator	90
5.22	Evolusi VC	91
5.23	Pengirisan Jaringan	91
5.24	Pengirisan E2E	92
5.25	SDN dan NFV dalam Mengiris	95
5.26	Manfaat dan Tantangan Masa Depan	96
5.27	Kebijakan 5G	97
5.28	Target	98
5.29	Bagaimana Mencapai Target	98
5.30	Area dan tantangan dalam Realisasi Target	98
5.31	Linimasa 5G	101
5.32	Kesimpulan	101
5.33	Pertanyaan	101
5.34	Referensi	102
BAGIAN III		
BAB 6	SEMIKONDUKTOR DALAM TELEKOMUNIKASI SELULER	110

6.1	Latar Belakang	110
6.2	RF, Analog/Mixed-Signal (AMS) dan Sirkuit MMW	111
6.3	RF CMOS	112
6.4	Group IV Silicon Bipolar dan BiCMOS	112
6.5	Group III-V Komponen Semikonduktor	112
6.6	Perangkat Pasif On-Chip	113
6.7	Contoh (RFAMS)	113
6.8	Pemancar	114
6.9	Power Amplifier RF	115
6.10	Sel Surya	117
6.11	MEMS	119
6.12	IoT-Mesin Pertumbuhan Selanjutnya untuk Semikonduktor	120
6.13	Teknologi/Proses	120
6.14	Masa depan IoT	121
6.15	Status Semikonduktor	121
6.16	Proses Pengembangan Semi Konduktor	121
6.17.	Potensi Ke depan	123
6.18	Kesimpulan	123
6.19	Pertanyaan	123
6.20	Referensi	124
BAB 7	PENGEMBANGAN PRODUK	127
7.1	Multi-standar, Multi-Mode, Multi-Rat berbasis Stasiun	127
7.2	Rancangan Stasiun Dasar	127
7.3	Sel Kecil	131
7.4	Rancangan Femtocell	132
7.5	Produk Femtocell	133
7.6	SSGN-MME Node	137
7.7	Komponen Hardware	137
7.8	Komponen Software	138
7.9	Spesifikasi	138
7.10	Stasiun Basis 5G dan Sel Kecil	138
7.11	Kesimpulan	139
7.12	Pertanyaan	139
7.13	Referensi	139
BAGIAN IV		
BAB 8	RANCANGAN JARINGAN, MANAJEMEN MOBILITAS, DAN PENYEBARAN	141
8.1	Rancangan Jaringan GSM 2G	141
8.2	Rancangan Jaringan UMTS 3G	141
8.3	Rancangan Jaringan LTE dan 4G (LTE-Advanced)	143
8.4	Rancangan Jaringan 5G Potensial	147
8.5	30.000 kaki Pandangan Mata Burung	148
8.6	Tampilan Jaringan 5G Level Tinggi	148
8.7	Rancangan Jaringan 5G (In-Depth View)	150
8.8	Manajemen Mobilitas	155
8.9	Manajemen Mobilitas EPS	155

8.10	Manajemen Suara pada LTE	156
8.11	Manajemen Mobilitas dalam HetNets (Sebuah Contoh)	159
8.12	Manajemen Mobilitas Futuristik	160
8.13	Penyebaran Jaringan	161
8.14	Rekayasa dan Perencanaan	162
8.15	Implementasi	162
8.16	Optimisasi	162
8.17	Manajemen Jaringan	163
8.18	Kesimpulan	165
8.19	Pertanyaan	165
8.20	Referensi	166
BAB 9	JARINGAN AKSES RADIO 4G/5G	169
9.1	Jaringan Akses Radio	169
9.2	Perilisan 3GPP	171
9.3	LTE-Advanced	174
9.4	Agregasi Karir	175
9.5	Perbedaan Antena	181
9.6	Konsep Relai	183
9.7	Peningkatan SON	188
9.8	eMBMS	189
9.9	Perbaikan Latency	189
9.10	Enhanced Inter-Cell Interface Coordination (eICIC)	190
9.11	Coordinate Multi-Point Transmission and Reception (CoMP)	191
9.12	LTE-Advanced Pro	192
9.13	Peningkatan Agregasi Karir	192
9.14	Akses Berbantuan Berlisensi Menggunakan LTE	193
9.15	Peningkatan MIMO	194
9.16	Perbaikan Latency	194
9.17	5G RAN	195
9.18	Permintaan	195
9.19	Fase 3GPP untuk IMT-2020	197
9.20	RAN Air-Interface	198
9.21	Rancangan 5G RAN	201
9.22	Kesimpulan	205
9.23	Pertanyaan	205
9.24	Referensi	206
BAB 10	PERSYARATAN TRANSPORTASI	211
10.1	Persyaratan Transportasi 5G	211
10.2	Backhaul Seluler	215
10.3	Radio Microwave E-Band	218
10.4	Teknologi Radio E-Band	219
10.5	Aspek Produk E-Band	222
10.6	Teknik Tautan Radio E-Band	224
10.7	Pengujian Eksperimental	228
10.8	Skenario Aplikasi	229

10.9	Evolusi Radio E-Band	230
10.10	Jaringan Transportasi Metro	231
10.11	MPLS-TP	231
10.12	Jaringan Transportasi Inti	238
10.13	Pelapisan Layanan di Jaringan Transportasi	238
10.14	Integrasi IP dan Optikal	241
10.15	Kesimpulan	244
10.16	Pertanyaan	244
10.17	Referensi	245
BAB 11	JARINGAN CORE DAN SISTEM DUKUNGAN OPERASIONAL	249
11.1	Paket Core yang Berevolusi	249
11.2	Fitur Jaringan Utama Core	251
11.3	Evolusi IMS	253
11.4	Kontinuitas Pelayaranan IMS dan Pelayanan Terpusat	254
11.5	eMPS untuk IMS	255
11.6	IIMS, IETF - Penyelarasan Protokol	255
11.7	Akses UICC untuk Spesifikasi IMS	256
11.8	Panggilan Darurat IMS	256
11.9	Jaringan 5G Core	256
11.10	Komponen jaringan Core/Rancangan Level Tinggi	257
11.11	Jaringan Pengiriman Konten	257
11.12	Platform CDN	258
11.13	Model Pengiriman CDN	259
11.14	CDN pada Jaringan Seluler	260
11.15	Kasus Penggunaan CDN	260
11.16	Sistem Dukungan Operasi	261
11.17	OSS/BSS untuk LTE	261
11.18	OSS/BSS untuk 5G	262
11.19	Kesimpulan	263
11.20	Pertanyaan	263
11.21	Singkatan dan Referensi	263
BAGIAN V		
BAB 12	KONEKTIVITAS PERANGKAT	267
12.1	Komponen Smartphone	267
12.2	Komponen	268
12.3	Baterai	268
12.4	Baterai yang dapat di isi ulang	269
12.5	Perangkat Prosesor	273
12.6	Jenis Prosesor	274
12.7	Area Perbaikan Utama	275
12.8	Contoh Prosesor LTE-Advanced	277
12.9	MIMO Skala Besar	278
12.10	Perspektif 3GPP	278
12.11	Komunikasi D2D	279
12.12	Taksonomi	280

12.13	Standarisasi D2D	281
12.14	Pertimbangan Teknikal	282
12.15	Aplikasi	283
12.16	Model SDO untuk Konektivitas Perangkat	284
12.17	Kesimpulan	285
12.18	Pertanyaan	285
12.19	Referensi	285
BAB 13	APLIKASI SELULER	290
13.1	Platform Pengiriman	290
13.2	SDP	290
13.3	IMS	293
13.4	SDP, IMS, dan Komputasi Cloud	294
13.5	Kemajuan Layanan Nilai Tambah	296
13.6	Layanan Finansial Mobile	296
13.7	Apakah Ada Kebutuhan?	296
13.8	Pembayaran Mobile	296
13.9	Pembayaran Jarak Jauh	297
13.10	Pembayaran jarak dekat	297
13.11	Player	300
13.12	Tantangan	300
13.13	mHealth	301
13.14	Rantai Nilai mHealth	302
13.15	Rancangan mHealth	303
13.16	Aplikasi mHealth	304
13.17	Tantangan	305
13.18	Potensial Pasar mHealth	306
13.19	Pemakaian IoT Secara Luas	306
13.20	M2M versus IoT	308
13.21	Ekosistem	308
13.22	Standarisasi	309
13.23	Aplikasi	311
13.24	Tantangan/Solusi	312
13.25	Kesimpulan	313
13.26	Pertanyaan	313
13.27	Referensi	314
BAGIAN VI		
BAB 14	TANTANGAN YANG MENARIK	317
14.1	Badai Sinyal	317
14.2	Jaringan 3G – Teknikalitas Persinyalan	326
14.3	Jaringan LTE – Teknikalisa Sinyal dalam LT	328
14.4	Catatan Penutup 1	331
14.5	Hyoerdense HetNet	331
14.6	Catatan Penutup 2	334
14.7	Komunikasi D2D	334
14.8	Catatan Penutup 3	336

14.9	Big Data	336
14.10	Catatan Penutup 4	339
14.11	Pertanyaan	339
14.12	Referensi	339
BAB 15	PRAKTEK INDUSTRI YANG LEMAH, BAIK DAN SANGAT BAIK	342
15.1	Manajemen Spektrum	342
15.2	Alokasi Spektrum – studi Kasus Perspektif Geo-Politik	343
15.3	Tugas Spektrum	345
15.4	Studi Kasus Lelang Spektrum Seluler	346
15.5	Manajemen Energi	348
15.6	Definisi Masalah	348
15.7	Teknik Hemat Energi	349
15.8	Teknik Energi yang Terbarukan	350
15.9	Aktivitas di SDO / Industri / Akademia	351
15.10	Manajemen Portofolio Paten	351
15.11	Portofolio Paten 2G, 3G, dan LTE	352
15.12	Perang Paten	356
15.13	Strategi untuk Menghindari Litigasi	358
15.14	Kesimpulan	359
15.15	Pertanyaan	359
15.16	Referensi	360
BAB 16	JALAN CEPAT : MAJU CEPAT KE TAHUN 2040	365
16.1	Gambar Tertentu	365
16.2	Mengapa Tahun 2040 ?	365
16.3	Tren Besar Utama	366
16.4	Kesimpulan Akhir	367
16.5	Referensi	368

BAB 1

PENGANTAR TEKNOLOGI 5G

Telepon Seluler adalah salah satu inovasi terbesar abad kedua puluh dan hari ini di abad kedua puluh satu dapat dikatakan dengan aman bahwa itu telah membawa tidak kurang dari sebuah revolusi dalam cara komunikasi berlangsung di seluruh dunia.

Telepon Seluler diaktifkan melalui kombinasi jaringan seluler dan perangkat seluler yang berkomunikasi satu sama lain melalui spektrum frekuensi radio (yaitu nirkabel). Jaringan seluler terdiri dari ribuan node yang membantu pengguna perangkat seluler dalam melakukan banyak tugas. Perangkat seluler telah menjadi Layar Ketiga setelah Televisi dan Komputer dan menjadi lebih ekonomis dan kuat dengan kemajuan teknologi yang berkelanjutan. Ada lebih dari 5 miliar pelanggan seluler di dunia dan untuk sebagian besar perangkat seluler telah menjadi kebutuhan dan tanpa itu mereka tidak dapat menjalani kehidupan rutin sehari-hari mereka.

1.1 Evolusi Telepon Seluler

Konsep seluler dicetuskan oleh Bell Laboratories pada tahun 1947 dan memungkinkan perusahaan menyediakan komunikasi nirkabel untuk populasi yang besar^[1]. Seperti bidang ilmu pengetahuan dan teknologi lainnya, komunikasi seluler terus berkembang dan sektor¹ telah membuat kemajuan yang menakjubkan dalam 70 tahun terakhir.

Jaringan seluler generasi pertama (1G) dikerahkan pada 1980-an, generasi kedua (2G) pada 1990-an, sedangkan generasi ketiga (3G) pada 2000-an. Saat ini, jaringan seluler 4G (generasi keempat) sedang dikerahkan dan dunia bersiap untuk merangkul generasi kelima (5G) dari telepon seluler seluler.

Sistem analog 1G tidak lagi beroperasi, yang hanya menyediakan layanan suara dan tidak mendukung data. Sistem digital 2G saat ini beroperasi dan mendukung layanan suara dan data terbatas. Sistem 3G mendukung suara, data kecepatan rendah, dan mengaktifkan sejumlah layanan data. Sistem 4G memungkinkan mobile broadband dalam arti sebenarnya, menargetkan 100 Mbps atau lebih tinggi saat bepergian.

Sistem 5G diharapkan memberikan peningkatan broadband seluler yang menargetkan kecepatan data puncak 20 Gbps, memperluas kemampuan Internet of Things 4G, dan memungkinkan aplikasi mission-critical yang membutuhkan keandalan ultra-tinggi dan latensi rendah. Jaringan 5G diharapkan dirancang dengan mengambil pendekatan yang berpusat pada pengguna.

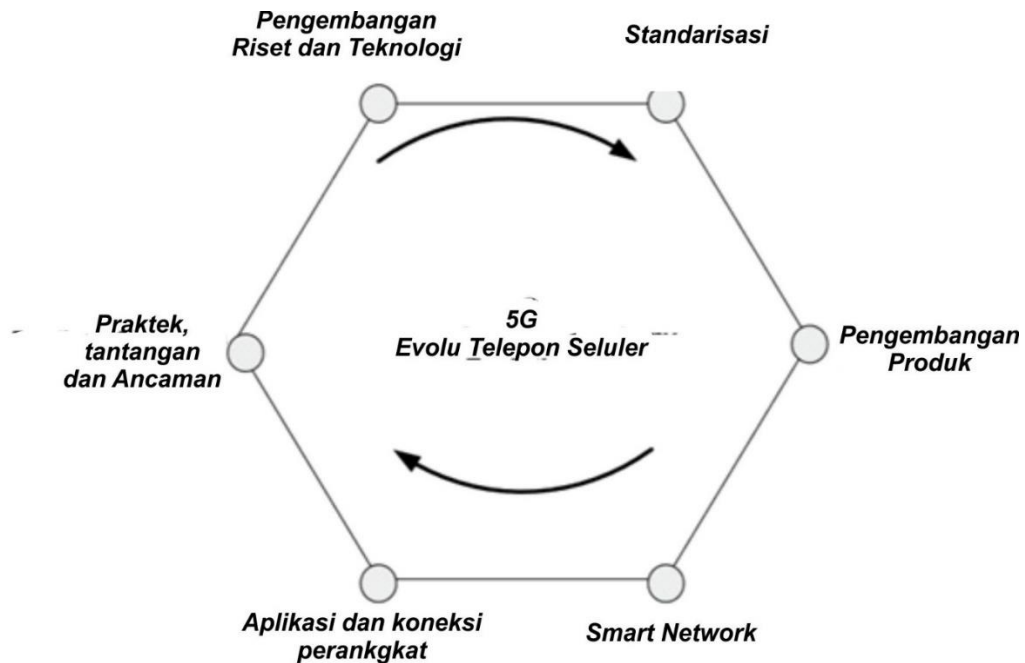
1.2 Telepon Seluler Berbasis Hexagon

Jaringan seluler atau jaringan seluler adalah jaringan nirkabel yang tersebar di daratan melalui web situs seluler. Masing-masing situs atau menara seluler ini terdiri dari transceiver (pemancar/penerima) untuk komunikasi dengan perangkat seluler. Dari perspektif teknologi, perangkat seluler² mengandalkan menara seluler yang keras untuk komunikasi dan situs sel atau menara seluler ini dirancang untuk mengingat bentuk heksagonal. Penggunaan sel heksagonal ditemukan oleh Bell Laboratories pada tahun 1970-an^[2]. Bentuk ini dipilih di atas

¹ Sektor ini mencakup entitas swasta dan publik yang terkait dengan komunikasi seluler, yaitu, pemerintah, kementerian, regulator, dan industri swasta.

²Perangkat seluler dapat mencakup ponsel, tablet, modem data, iPad, dan perangkat serupa
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

bentuk geometris lainnya karena dengan menggunakannya sel-sel dapat diletakkan bersebelahan tanpa tumpang tindih, sehingga memberikan cakupan secara teoritis ke seluruh area layanan tanpa celah^[3]. Desain segi enam setidaknya sejauh ini tetap diperlukan untuk komunikasi bergerak seperti semen untuk konstruksi bangunan atau tar batubara untuk melapisi jalan.



Gambar 1.1 Langkah-langkah kunci dalam telepon seluler.

Jika kita melihatnya dari perspektif ujung ke ujung, fase-fase kunci telepon seluler seluler dapat dengan baik masuk ke enam sudut bentuk segi enam (Gambar 1.1). Enam fase generik ini adalah penelitian dan pengembangan teknologi, standarisasi, pengembangan produk, pengembangan jaringan, pengembangan perangkat dan aplikasi, serta praktik dan tantangan sektor.

Singkatnya, meskipun tidak perlu, penelitian dan pengembangan teknologi adalah langkah pertama yang mengarah ke standarisasi diikuti oleh pengembangan produk. Setelah produk telekomunikasi siap, mereka disebar di jaringan seluler. Pengembangan perangkat biasanya tertinggal dari produksi peralatan jaringan. Setelah jaringan aktif dan berjalan dan pengguna terhubung ke jaringan melalui perangkat mereka, aplikasi mulai mengalir masuk; dari sana, sektor-sektor mulai melihat praktik yang baik atau tidak begitu baik, hambatan dan tantangan, dan tuntutan bisnis baru yang kemudian mengarah kembali ke langkah pertama untuk memulai dari awal lagi.

a) Pentingnya Teknologi Pengujian

"Pengujian" berarti pengukuran, pemeriksaan dan pengujian. Dalam bidang aplikasi yang berbeda, konsep pengujian berbeda, tetapi semuanya memainkan peran penting. Misalnya, dalam bidang medis, "pengujian" merupakan langkah dan indikator penting untuk menentukan sehat atau tidaknya seseorang; di bidang pengajaran, "pengujian" adalah kriteria penting untuk meninjau pengetahuan dan keterampilan orang, dll. "Pengujian" dalam buku ini berarti mengukur dan menguji kinerja dan ketepatan ilmu pengetahuan, teknologi dan peralatan, dan lebih menekankan pada ujian dan verifikasi teknologi komunikasi nirkabel baru.

Di bidang komunikasi nirkabel, teknologi pengujian memainkan peran yang menentukan di seluruh industri. Mengenai revolusi teknologi baru, Akademisi Xuesen Qian berkata, "Teknologi kunci dari revolusi teknologi baru adalah teknologi informasi. Teknologi informasi terdiri dari tiga bagian, yaitu teknologi pengukuran, teknologi komputer dan teknologi komunikasi dimana teknologi pengukuran menjadi kunci dan dasarnya."^[1] Komputer, komunikasi, dan instrumen adalah tiga teknologi informasi yang diakui secara internasional dan merupakan industri yang telah mencapai perkembangan tercepat sejak abad kedua puluh satu. Perkembangan teknologi di berbagai bidang biasanya saling mendukung dan mendorong satu sama lain. Berkat kemajuan teknologi komputer dan komunikasi, alat ukur telah mencapai perkembangan dan perubahan yang pesat dalam 30 tahun terakhir, yang akan diuraikan dalam bab-bab selanjutnya dari buku ini. Sebagai salah satu dari tiga teknologi utama industri informasi, teknologi pengujian dan pengukuran telah menjadi landasan dan jaminan pengembangan bagi industri informasi elektronik. Alat ukur adalah perangkat strategis suatu negara, yang tingkat perkembangannya telah menjadi tanda tingkat ilmu pengetahuan dan teknologi nasional, kekuatan nasional yang komprehensif dan daya saing internasional. Dalam komunikasi, radar, navigasi, penanggulangan elektronik, teknologi ruang angkasa, pengukuran dan kontrol, kedirgantaraan dan banyak bidang lainnya, alat ukur elektronik adalah peralatan teknis yang sangat diperlukan. Dalam industri manufaktur modern, instrumen canggih diperlukan dalam penelitian dan desain, kontrol proses produksi, dan pengujian produk sebagai pendukung teknologi pengujian.

Instrumen adalah pembawa realisasi teknologi pengujian. Selain itu, pengujian merupakan langkah penting untuk memeriksa kualitas keseluruhan produk, dan juga merupakan dasar penting untuk membantu para peneliti untuk meningkatkan produk. Setiap teknologi atau produk baru harus diuji dan dievaluasi secara menyeluruh sebelum memasuki produksi industri dan menjadi teknologi standar atau produk yang memenuhi syarat di pasar. Teknologi pengujian perlu dijalankan melalui seluruh proses, dari tahap pra-desain hingga tahap desain hingga tahap penyelesaian produksi. Ambil contoh produksi ponsel. Sebelum pengembangan dan produksi, insinyur perlu menguji semua jenis komponen yang terkait dengan telepon. Selama pengembangan dan produksi, mereka perlu mengambil tes kualitatif atau kuantitatif dari bagian mesin, ponsel setengah jadi dan semua jenis parameter ponsel. Dan setelah produksi selesai, tes komprehensif fungsionalitas, kinerja, dan keandalan ponsel diperlukan, seperti uji kesesuaian frekuensi radio ponsel, uji WLAN, uji GPS, dan sebagainya, untuk menilai apakah ponsel memenuhi berbagai protokol, standar dan persyaratan otoritas. Berbagai tes dilakukan untuk menentukan apakah ponsel memenuhi standar atau tidak. Setelah mengorganisasikan dan menganalisis data pengujian, jika pengujian menunjukkan tidak memenuhi standar, maka akan kembali untuk mengoptimalkan kinerja dan diuji lagi. Data uji dapat digunakan untuk membantu para peneliti dengan optimalisasi kinerja dan pemecahan masalah. Produk tidak boleh memasuki pasar untuk menjadi ponsel yang memenuhi syarat sampai hasil tes akhirnya memenuhi standar. Kualitas dan efisiensi produk dibatasi oleh kualitas dan efisiensi teknologi pengujian. Hanya proses pengujian yang akurat dan efisien yang dapat menjamin produksi produk berkinerja tinggi yang lebih efisien untuk pasar terminal yang diperbarui dengan cepat saat ini. Ambil pengujian perangkat lunak sebagai contoh lain. Insinyur menjalankan atau menguji perangkat lunak secara manual atau otomatis untuk menemukan bug atau cacat pada perangkat lunak, untuk membantu peneliti dalam optimasi desain perangkat lunak dan memberikan jaminan kualitas untuk perangkat lunak. Proses kompilasi perangkat lunak adalah proses pengujian, debugging, dan pengoptimalan perangkat lunak, dan pengujian perangkat lunak dilakukan sepanjang periode definisi dan pengembangan perangkat lunak. Teknologi pengujian memainkan peran penting dalam

semua tahap produk atau teknologi, mulai dari ide awal hingga prototipe hingga standarisasi. Solusi pengujian dan pengukuran dari setiap tahap merupakan jaminan penting untuk keberhasilan penerapan teknologi baru dan produk baru.

Perkembangan teknologi pengujian saling ditingkatkan dengan penelitian dan penerapan teknologi baru dan produk baru. Ini menyediakan alat pengujian penting untuk pengembangan peralatan baru sementara instrumen pengujian adalah alat yang sangat diperlukan untuk teknologi pengujian. Hanya ketika dilengkapi dengan instrumen yang kuat, kita dapat mengubah banyak teori menjadi kenyataan. Saat ini perkembangan alat tes semakin menuju ke arah multi interface, multifungsi, intelligence, high density, dan high speed. Beberapa produsen instrumen bahkan bergabung dengan produsen peralatan dalam pengembangan standar dan manufaktur peralatan, yang sangat mencerminkan pentingnya teknologi pengujian dan pengukuran [2].

b) Pengembangan Instrumen Pengujian

Instrumen merupakan kombinasi dari berbagai ilmu pengetahuan dan teknologi dengan banyak variasi dan aplikasi yang luas. Menurut tujuan dan penggunaan yang dimaksudkan, instrumen dapat dibagi menjadi instrumen pengukuran, instrumen uji radio, instrumen mobil, instrumen pesawat terbang, instrumen navigasi, instrumen survei geologi, instrumen pengukuran waktu, instrumen pengajaran, instrumen medis dan banyak jenis lainnya [3]. Instrumen pengujian dalam buku ini semuanya berkaitan dengan bidang teknologi nirkabel, termasuk dalam kategori instrumen uji radio.

Dari ponsel dengan fungsi panggilan sederhana hingga smartphone multimode dan netbook dengan berbagai fungsi seperti GPS, Wi-Fi, Bluetooth, fungsi pembayaran, dan televisi digital, terminal seluler pribadi memiliki lebih banyak fungsi dan aplikasi dengan kinerja yang semakin kompleks. Oleh karena itu, untuk memastikan kinerja yang lebih andal dan fungsi terintegrasi yang lebih kuat, diperlukan peralatan pengujian yang matang dan metode pengujian yang canggih dan andal. Instrumen pengujian yang kuat sangat diperlukan untuk pengoperasian peralatan komunikasi nirkabel baru yang stabil dan andal [4].

Melalui sejarah instrumen pengujian, kita dapat mengambil awal dari teknologi pengujian otomatis dan layanan jarak jauh berbasis jaringan sebagai titik kritis. Sejauh ini, perkembangan instrumen uji secara kasar dapat dibagi menjadi tiga era: "Era Instrumen 1.0", yang berarti zaman tradisional yang berdiri sendiri dan instrumen pengujian manual murni; "Era Instrumen 2.0", yaitu era perangkat lunak radio yang dipicu oleh kemajuan teknologi komputer dan komunikasi; dan "Era Instrumen 3.0", yang telah memperkenalkan pengujian jaringan yang saling berhubungan dan berkembang dari instrumen pengujian sederhana menjadi integrasi peralatan dan layanan pengujian. Saat ini, industri pengujian masih berada di Era Instrumen 2.0 dan tahap awal Era Instrumen 3.0. Apakah perubahan akan terjadi dalam pengembangan instrumen di masa depan dan apakah perubahan akan cepat atau lambat, semua memerlukan upaya bersama yang berkelanjutan dari pekerja teknis kami. Tren perkembangan teknologi pengujian akan dijelaskan dalam bab-bab berikutnya. Perlu dicatat bahwa pembagian era yang berbeda tidak mutlak. Instrumen era lain tidak akan serta merta hilang ketika teknologi baru muncul. Sebaliknya, mereka lebih cenderung untuk terus maju dengan perkembangan teknologi atau diganti dan berhenti berproduksi setelah jangka waktu tertentu. Pembaharuan instrumen lama dan baru merupakan proses koeksistensi dan substitusi.

Perkembangan teknologi pengujian sebenarnya merupakan proses pengembangan instrumen pengujian. Bagian ini akan mengarahkan pembaca untuk meninjau proses pengembangan dan

evolusi instrumen pengujian. Pembawa realisasi utama teknologi pengujian adalah instrumen pengujian. Lebih mudah bagi pembaca untuk memahami perkembangan teknologi pengujian pada periode yang sesuai dengan pengenalan pengembangan instrumen pengujian.

c) Teknologi Bus

Sejak lahirnya teknologi bus uji generasi pertama, yaitu teknologi General Purpose Interface Bus (GPIB), pada tahun 1970-an, pengujian telah berkembang secara bertahap dari operasi manual tunggal ke sistem pengujian otomatis skala besar. Setelah itu, semua alat ukur dengan antarmuka standar GPIB bermunculan, dan standar terpadu instrumen yang saling berhubungan secara bertahap terbentuk. Standar memungkinkan insinyur pengujian untuk merakit berbagai sistem pengukuran otomatis dengan fungsi yang kuat dengan cara yang sangat nyaman. Sementara itu, dengan berjalannya waktu dan peningkatan persyaratan pengujian, teknologi bus tidak lagi terbatas pada GPIB. Teknologi bus lainnya telah diajukan dan ditingkatkan. Teknologi bus yang representatif termasuk VMEbus eXtensions for Instrumentation (VXI), Peripheral Component Interconnect (PCI), Peripheral Component Interface expres (PCIe), PXI, PCI eXtensions for Instrumentation expres (PXIe), LAN eXtension for Instrumentation (LXI) dan Advanced eXtensible Interface ekspres (AXIe), dll.

Melalui bus uji, komunikasi data antara unit dan modul yang berbeda dalam instrumen pengujian direalisasikan. Berkat perkembangan teknologi bus, pengujian tidak lagi terbatas pada pengoperasian manual dari satu instrumen dan pengujian otomatis menjadi mungkin. Kemajuan ini berperan penting dalam mendorong pengembangan sistem pengujian otomatis, sehingga teknologi bus merupakan teknologi penting di Era 2.0 dan perubahan utama pada instrumen pengujian tidak dapat dipisahkan dari perkembangan teknologi bus.

Kelahiran teknologi GPIB memungkinkan para insinyur untuk langsung menghubungkan instrumen uji dengan komputer. Hampir setiap perangkat memiliki antarmuka GPIB, yang tegas, andal, universal, sederhana, dan nyaman. Yang paling sederhana adalah menghubungkan satu komputer dengan instrumen pengujian. Namun, akan dibatasi jika tes perlu menggunakan beberapa instrumen. Dalam hal ini, dengan kecepatan transmisi data yang rendah, biaya tinggi, bandwidth terbatas, dan keandalan yang buruk, fungsi sinkronisasi dan pemicu beberapa instrumen tidak dapat disediakan, yang akan mempengaruhi kinerja pengujian.

VXI memiliki bandwidth yang lebih tinggi dan latensi yang lebih rendah daripada GPIB. Tetapi sulit untuk diterapkan pada bidang lain karena biayanya yang tinggi. Hal ini terutama digunakan dalam militer dan kedirgantaraan. Selain itu, VXI didasarkan pada bus VME yang sudah ketinggalan zaman dan komputer modern tidak mendukung struktur bus semacam ini, yang telah mempengaruhi perkembangan teknologi bus.

Intel mengajukan konsep bus PCI untuk pertama kalinya pada tahun 1990-an, yang digunakan untuk menghubungkan periferal dan backplane komputer. Bus PCI merupakan bus paralel yang dapat bekerja pada frekuensi 33 MHz dan 32 bit. Bandwidth teoritis maksimum adalah 132 Mbytes/s, dan menggunakan topologi bus bersama

Setelah bus PCI digunakan di bidang instrumen, di bawah pengaruh gabungan dari berbagai faktor, bus teknologi PXI diperoleh melalui perluasan bus PCI yang sesuai. Ini adalah standar bus baru yang diluncurkan oleh Perusahaan Instrumen Nasional Amerika (NI) pada tahun 1997. PXI didasarkan pada teknologi bus PCI yang matang, sehingga memiliki laju transmisi bus yang lebih cepat, volume yang lebih kecil, dan kinerja biaya yang lebih baik dibandingkan dengan

VXI. Selain itu, PXI mampu memberikan waktu nanodetik dan fitur sinkronisasi serta karakteristik industri yang kuat. Akhirnya, berkat fleksibilitas perangkat lunak dan pembaruan berkelanjutan dari perangkat keras modular, pengguna dapat meningkatkan seluruh sistem pengujian kapan saja dengan investasi paling sedikit. Skalabilitas yang sangat baik dan arsitektur perangkat lunak yang fleksibel membuat integrasi sistem berdasarkan platform instrumentasi modular PXI menjadi lebih umum.

d) Teknologi Radio yang Ditentukan Perangkat Lunak

Radio yang Ditentukan Perangkat Lunak, yang dikenal sebagai revolusi ketiga dalam bidang informasi, adalah teknologi paling representatif dari Era Instrumen 2.0. Radio perangkat lunak adalah untuk mengambil perangkat keras sebagai platform dasar komunikasi nirkabel dan menerapkan fungsi maksimal komunikasi nirkabel dan komunikasi pribadi dengan perangkat lunak.

Pada 1990-an, sebagai konsep dan sistem komunikasi nirkabel baru, perangkat lunak radio mulai mendapat perhatian di dalam dan luar negeri. Ini memberi sistem komunikasi universalitas dan fleksibilitas yang baik, dan memudahkan interkoneksi dan peningkatan sistem. Teknologi tersebut ternyata menjadi terobosan besar di bidang radio dan terutama diterapkan di bidang militer. Ide dasarnya adalah untuk membiarkan semua radio taktis yang digunakan didasarkan pada platform perangkat keras yang sama, menginstal perangkat lunak yang berbeda untuk membentuk berbagai jenis radio, menyelesaikan fungsi dari sifat yang berbeda, dan mendapatkan kemampuan perangkat lunak yang dapat diprogram [9, 10]. Pada awal abad kedua puluh satu, dengan upaya banyak perusahaan, aplikasi radio perangkat lunak diubah dari bidang militer ke sipil, seperti terminal seluler multi-band multi-mode, stasiun pangkalan multi-mode multi-band, WLAN dan gerbang universal, dll. Perangkat lunak yang mendefinisikan teknologi radio, sebagai struktur sistem komunikasi nirkabel baru dengan fleksibilitas dan keterbukaan yang kuat, secara alami telah menjadi basis strategis komunikasi global [11].

Karena meningkatnya permintaan pengguna, kekurangan sumber daya spektrum dan daya tarik besar bisnis baru telah membawa banyak tekanan bagi produsen dan operator peralatan dan mendorong pembaruan standar teknologi nirkabel. Karena ada perbedaan yang signifikan antara berbagai standar dan sistem teknologi nirkabel, sistem komunikasi nirkabel berbasis perangkat keras yang ada sulit untuk beradaptasi dengan situasi ini, yang telah mengarah pada konsep Radio yang Ditentukan Perangkat Lunak serta teknologi dan peralatan yang diperbarui. Pembaruan teknologi dan peralatan biasanya menyebabkan pemborosan peralatan dan investasi, sedangkan teknologi radio yang ditentukan perangkat lunak mampu menyelamatkan ketidaknyamanan yang disebabkan oleh pembaruan teknologi melalui perangkat lunak yang ditentukan sendiri.

Arsitektur perangkat lunak radio berbeda dari perangkat lunak tradisional. Dalam sistem komunikasi nirkabel konvensional, bagian RF, konversi frekuensi naik/turun, penyaringan, dan pemrosesan pita dasar semuanya dalam bentuk analog. Pita atau jenis modulasi sistem komunikasi tertentu sesuai dengan struktur perangkat keras khusus tertentu. Bagian frekuensi rendah dari sistem radio digital mengadopsi sirkuit digital, tetapi bagian RF dan IF masih tidak dapat dipisahkan dari sirkuit analog [10]. Dibandingkan dengan sistem radio konvensional, radio perangkat lunak menyadari semua fungsi komunikasi oleh perangkat lunak. Ide kunci dari radio perangkat lunak adalah untuk membangun standar, platform perangkat keras universal modular, untuk mewujudkan berbagai fungsi oleh perangkat lunak, dan untuk

membuat broadband A/D dan D/A dikonversi ke IF, di dekat sisi RF antena, dan berusaha keras untuk melakukan pemrosesan digital dari IF. Selain itu, berbeda dari radio digital yang menggunakan sirkuit digital, radio perangkat lunak mengadopsi DSP/CPU berkecepatan tinggi. Sistem radio perangkat lunak harus bekerja secara paralel dengan sejumlah CPU, dan data pemrosesan sinyal digital harus dipertukarkan dengan kecepatan tinggi, yang mengharuskan bus sistem memiliki kecepatan transmisi data yang sangat tinggi. Perangkat DSP digunakan untuk menggantikan papan sirkuit digital khusus sehingga struktur dan fungsi perangkat keras sistem relatif independen. Desain modular juga digunakan untuk memberikan keterbukaan, skalabilitas, dan kompatibilitas platform. Berdasarkan platform perangkat keras yang relatif universal, radio perangkat lunak mewujudkan fungsi komunikasi yang berbeda dengan memuat perangkat lunak yang berbeda. Ini dapat dengan cepat mengubah metode akses saluran atau mode modulasi dan beradaptasi dengan standar yang berbeda dengan memanfaatkan perangkat lunak yang berbeda, sehingga membentuk terminal multimode yang sangat fleksibel dan stasiun pangkalan multi-fungsi untuk mencapai interkoneksi.

Dalam aplikasi praktis, radio perangkat lunak membutuhkan kecepatan pemrosesan perangkat keras dan perangkat lunak yang sangat tinggi. Karena keterbatasan tingkat teknologi perangkat keras, konsep radio perangkat lunak murni belum banyak digunakan dalam produk praktis. Teknologi SDR berdasarkan konsep radio perangkat lunak telah menarik lebih banyak perhatian. Radio yang ditentukan perangkat lunak adalah suatu sistem, yang harus memiliki kemampuan untuk memprogram ulang dan merekonstruksi, sehingga peralatan tersebut dapat digunakan dalam berbagai standar dan pita frekuensi ganda dan mewujudkan berbagai fungsi. Ini tidak hanya menggunakan perangkat yang dapat diprogram untuk menerapkan pemrosesan sinyal pita dasar digital, tetapi juga melakukan pemrograman dan rekonstruksi pada sirkuit analog frekuensi radio dan frekuensi menengah, dan memiliki kemampuan untuk memprogram ulang, mengatur ulang, menyediakan dan mengubah layanan, mendukung berbagai standar dan kemampuan pemanfaatan spektrum cerdas, dll.

Teknologi radio yang ditentukan perangkat lunak terutama diwujudkan berdasarkan FPGA atau DSP chip tunggal. Namun, dengan peningkatan terus-menerus dalam volume data yang dikumpulkan, kemampuan pemrosesan sinyal dari platform radio perangkat lunak juga perlu lebih ditingkatkan. Untuk meningkatkan kapasitas pemrosesan sinyal modern, teknologi baru juga diusulkan. Misalnya teknologi radio yang ditentukan perangkat lunak berdasarkan Compact PCI (CPCI) telah menarik banyak tim dan produsen untuk mengembangkan sistem platform radio perangkat lunak sesuai dengan standar CPCI [12].

1.3 Gambaran Manuskrip

Naskah ini telah dibagi menjadi enam bagian berikut sesuai dengan sel heksagonal.

Bagian I tentang penelitian, pengembangan teknologi, dan spektrum frekuensi. Seperti halnya bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, komunikasi seluler juga mengandalkan penelitian dan pengembangan teknologi untuk kemajuan dan evolusi. Bab 2 membahas bagaimana hal ini saat ini dikapitalisasi dalam jaringan seluler dan bagaimana hal ini dapat diperkuat di masa depan. Topik spektrum frekuensi radio, yang dikendalikan oleh pemerintah, dibahas dalam Bab 3. Proses ITU-R (Internasional Telecommunications Union Radiocommunication Sector) alokasi dan identifikasi frekuensi dan beberapa solusi teknis dan keuangan potensial untuk mengatasi kebutuhan spektrum 5G dibahas dalam bab ini.

Bagian II melihat ke dalam unsur standardisasi. Komunikasi seluler diatur oleh standar global yang dikembangkan untuk mencapai skala ekonomi dan untuk mencapai banyak manfaat

lainnya. Bab 4 membahas standarisasi 5G bersama dengan proses standarisasi dari organisasi pengembangan standar utama (SDOs), pedoman ITU-T (ITU Standardization Sector) untuk mendirikan SDO di negara berkembang, dan studi kasus tentang kurangnya penelitian dan standarisasi di negara-negara anggota OIC ((Organization of Islamic Conference/ Organisasi Konferensi Islam). Bab 5 merangkum elemen kunci tertentu dari 5G seperti teknik akses ganda, radio kognitif, akses radio cloud terbesar dari standarisasi jaringan, komunikasi kendaraan, dan jaringan slicing. 5G saat ini dalam tahap standarisasi dan ITU diharapkan untuk menyetujui standar 5G pada tahun 2020.

Bagian IV adalah semua tentang jaringan yang mencakup bidang jaringan akses radio, jaringan transportasi, jaringan inti, dan sistem pendukung operasi. Bagian ini dimulai dengan mendefinisikan arsitektur jaringan seluler ujung-ke-ujung 2G, 3G, 4G, dan 5G di Bab 8. Jaringan akses radio 4G bersama dengan beberapa fitur lanjutan LTE-Advanced dan LTE-Advanced Pro dibahas dalam Bab 9. Persyaratan, arsitektur, dan antarmuka udara 5G NR (radio baru) juga dijelaskan dalam bab yang sama. Bab 10 dimulai dengan menentukan persyaratan kapasitas lalu lintas untuk 5G. Ini juga membahas teknologi utama dalam tiga subarea jaringan transportasi, yaitu mobile backhaul, jaringan transportasi metro, dan jaringan transportasi inti. Bab 11 memberikan ikhtisar tentang 4G Evolved Packet Core dan 5G NGC (Next Generation Core) yang berkembang. CDN (Content Development Network), evolusi IMS (IP Multimedia Subsystem), dan OSS (Operations Support Systems) juga dibahas dalam bab ini.

Bagian V membahas perangkat yang terhubung dan aplikasi seluler utama tertentu yang dijelaskan masing-masing di Bab 12 dan 13. Bab 12 membahas tiga komponen utama perangkat. yaitu baterai, prosesor, dan antena yang mungkin perlu utama sebagai peningkatan untuk memenuhi persyaratan 5G. Bab 13 menjelaskan mekanisme pengiriman aplikasi seperti SDP (Service Delivery Platform) dan IMS, dan peran komputasi awan di arena aplikasi. Di bagian akhir dari bab yang sama, layanan nilai tambah lanjutan seperti layanan keuangan seluler, kesehatan seluler, dan IoT (Internet of Things) dijelaskan secara rinci.

Bagian VI, yang merupakan bagian terakhir, menjelaskan tantangan utama industri yang membara dan praktik terbaik yang nantinya dapat dirumuskan dalam komunikasi seluler generasi berikutnya. Bab 14 membahas tantangan akibat badai pensinyalan (lalu lintas pensinyalan besar-besaran karena perangkat pintar), kelimpahan HetNet (jaringan heterogen), komunikasi perangkat-ke-perangkat, dan data besar. Bab 15 membahas beberapa praktik utama industri, yaitu manajemen spektrum, manajemen energi, dan manajemen portofolio paten di mana setiap praktik dijabarkan lebih lanjut dengan studi kasus.

Buku ini diakhiri dengan diskusi yang futuristik dan menggugah pemikiran tentang bagaimana melampaui cara tradisional dalam berbisnis. Bab 16 mendesak sektor telekomunikasi untuk melihat gambaran yang lebih besar dan ke masa depan yang jauh lebih jauh bekerja sama dengan sektor ITC (Teknologi Informasi dan Komunikasi) secara keseluruhan.

1.4 Referensi

1. Engineering and Technology History Wiki 2016. Milestones: List of IEEE Milestones. http://ethw.org/Milestones:List_of_IEEE_Milestones
2. Engineering and Technology History Wiki 2015. The Foundations of Mobile and Cellular Telephony. http://ethw.org/The_Foundations_of_Mobile_and_Cellular_Telephony
3. Rappaport, S.T. 1996. Wireless Communications Principles and Practice. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ.

BAGIAN 1

BAB 2

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PENELITIAN

Seperti bidang ilmu pengetahuan dan teknologi lainnya, telekomunikasi seluler membutuhkan penelitian yang menyeluruh dan terus-menerus untuk berhasil. Penelitian adalah tulang punggung dunia telekomunikasi dan faktor penting untuk pencapaian masa depan.

Penelitian saat ini di bidang telekomunikasi terutama termasuk dalam kategori penelitian terapan. Penelitian terapan didorong oleh bisnis, dengan fokus pada pemecahan masalah praktis untuk mendapatkan keuntungan dalam jangka pendek hingga menengah. Penelitian dasar, di sisi lain, dilakukan tanpa batas dan tanpa justifikasi bisnis dan berfokus pada jangka panjang. Penelitian ini berwawasan ke depan, mendorong inovasi, memungkinkan kemakmuran sosial-ekonomi, dan membantu berpindah dari satu generasi teknologi ke generasi berikutnya.

Karena itu tidak ada langkah-langkah yang dikodekan secara keras tetapi biasanya penelitian melibatkan pengembangan teknologi. Dalam istilah yang lebih nyata, R&D dari akademisi masuk ke laboratorium penelitian industri dan dari sana ke organisasi pengembangan standar. Proses standardisasi dijalankan, dalam batas-batas tertentu, dengan mempertimbangkan kendala ekonomi dan penerapan serta tantangan interoperabilitas. Standardisasi diikuti oleh pengembangan produk dan kemudian ke pengembangan/penyebaran/operasi jaringan.

Fokus bab ini adalah pada penelitian dan pengembangan teknologi (R&D/R&TD), yang merupakan blok fundamental untuk membuat kemajuan telekomunikasi yang berkelanjutan dan substansial.

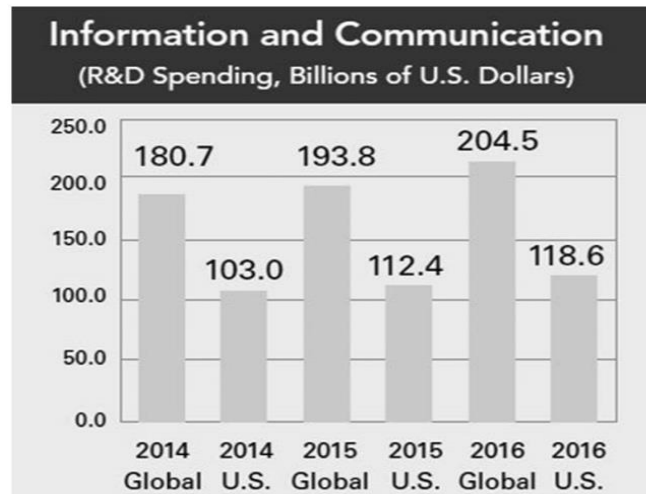
2.1 Riset Dasar versus Riset Terapan

Penelitian dasar didorong oleh rasa ingin tahu. Hal ini dilakukan tanpa memikirkan tujuan praktis seperti yang didefinisikan dalam laporan "Science, the Endless Frontier"^[1] oleh Vannevar Bush kepada Presiden Amerika Serikat pada tahun 1945 dan dikutip oleh National Science Foundation dalam salah satu artikelnya yang diterbitkan di 1953^[2].

Penelitian dasar mengarah pada pengetahuan baru dan memberikan modal ilmiah. Pengetahuan menyediakan sarana untuk mengatasi sejumlah masalah praktis, meskipun pada saat yang sama, mungkin tidak memberikan jawaban spesifik yang lengkap untuk salah satu dari mereka^[2]. Tujuan penelitian dasar perlu ditentukan oleh para peneliti itu sendiri daripada oleh individu/organisasi tertentu yang terutama mementingkan perbaikan jangka pendek dalam produk dan layanan yang ada^[3]. Pada akhirnya, adalah penting bahwa eksplorasi tak terkendali dari pengetahuan baru menghasilkan penemuan dan penemuan. Contoh sempurna dari fakta ini adalah penemuan gelombang gravitasi pada tahun 2016 setelah satu abad penuh harapan.

Penelitian terapan, sebaliknya, dirancang untuk menjawab pertanyaan spesifik yang ditujukan untuk memecahkan masalah praktis tertentu. Pengetahuan yang diperoleh melalui penelitian terapan memiliki tujuan komersial tertentu dalam bentuk produk, proses atau jasa. Contoh yang baik adalah penggunaan *single base transceiver station* (BTS) untuk mendukung berbagai teknologi akses radio di akhir tahun 2000-an dibandingkan dengan pemetaan satu-ke-satu antara BTS dan teknologi radio.

Dapat dicatat bahwa kedua jenis penelitian saling melengkapi. Penelitian dasar memberikan pengetahuan ilmiah. Peneliti terapan dapat menggunakan pengetahuan ini untuk mengembangkan teknologi/produk baru dan juga untuk melakukan perbaikan pada produk, teknologi, dan proses yang sudah ada. Ini diikuti oleh langkah di mana peneliti dasar memanfaatkan produk dan layanan yang ditingkatkan untuk menjawab pertanyaan mendasar baru. Secara keseluruhan merupakan siklus penting bagi kemajuan dan kemajuan semua bidang ilmu pengetahuan dan teknologi^[4].



Gambar 2.1 Pengeluaran R&D industri ITC (Dari Battelle dan Majalah R&D 2016. Prakiraan Pendanaan R&D Global 2016^[7].)

Industri telekomunikasi berfokus pada penelitian terapan, karena penekanannya adalah pada keuntungan praktis jangka pendek daripada investigasi yang didorong oleh peneliti. Ada tekanan kompetitif yang sangat besar untuk fokus pada jangka pendek daripada jangka panjang di dunia usaha. Cakrawala semakin pendek dan didorong oleh bergerak cepat dan keuntungan tambahan industri mencintai dan masyarakat pada umumnya. Namun, ada kebutuhan untuk penelitian dasar untuk telekomunikasi jangka panjang yang perlu diproduksi baik di tingkat nasional maupun global seperti yang diilustrasikan oleh kasus berikut.

Sebuah contoh terkenal dari hubungan antara penelitian dasar dan terapan adalah penemuan laser. Karya penemu dikritik pada saat itu oleh beberapa rekan mereka sebagai "solusi mencari masalah"^[5]. Namun, sejarah membuktikan sebaliknya, menjadikan laser sebagai solusi untuk banyak masalah. Laser pada akhirnya telah merevolusi tidak hanya industri telekomunikasi melalui serat optik, tetapi juga menyediakan serangkaian aplikasi tak terbatas dari printer laser hingga senjata berpemandu laser.

2.2 R&D dalam ICT

Di tingkat ICT (Information and Communication Technology)³ global, AS terus menjadi kekuatan R&D yang dominan. A.S. menyumbang sekitar 58% dari pangsa R&D global sektor ini pada tahun 2016 sebagaimana ditabulasikan di Battelle dan Majalah R&D (Gambar 2.1). Sebagian besar investor R&D adalah pemasok seperti yang ditunjukkan pada^[7,8], di mana aktivitas investasi dipimpin oleh Intel dan Microsoft, dengan masing-masing menginvestasikan lebih dari Rp. 182 ribu triliun dalam R&D selama 2016.

³Industri TIK menyediakan perangkat keras, perangkat lunak, dan layanan yang membentuk era informasi modeNR, mencakup semikonduktor, telekomunikasi, komputer, telepon, dan tablet^[7].
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

ICT sangat bergantung pada industri semikonduktor yang telah meletakkan dasar untuk elektronik modern dan gaya hidup modern. Setiap peralatan ITC mengandung sirkuit terpadu yang merupakan kumpulan sirkuit elektronik pada pelat (chip) kecil bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah zat, biasanya unsur atau senyawa kimia padat, yang mendukung konduktivitas listrik antara konduktor, seperti tembaga, dan isolator, seperti kaca. Elemen seperti silikon, germanium, dan senyawa galium adalah yang paling banyak digunakan dalam rangkaian elektronik. Dari perspektif pengeluaran penelitian dan pengembangan semikonduktor, Intel memimpin grafik diikuti oleh Qualcomm dan Broadcom seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1^[9-11]. Kemajuan dalam semikonduktor merupakan prasyarat dalam memberikan kecepatan data yang lebih tinggi dan efisiensi energi dalam jaringan dan perangkat telekomunikasi.

Tabel 2.1 Top 10 Teratas Semikonduktor R&D

2016 Rank	2015 Rank	2014 Rank	Company/ Headquarters	2014 R&D Exp (\$M)	2014 R&D/Sales	2015 R&D Exp (\$M)	2015 R&D/Sales	2016 R&D Exp(\$M)	2016 R&D/Sales
1	1	1	Intel, USA	11,537	22.4%	12,128	24%	12,740	22.4%
2	2	2	Qualcomm, USA	3,695	19.2%	3,702	23.1%	5,109	33.1%
3	4	4	Broadcom, USA	2,373	28.2%	2,105	25.0%	3,188	20.5%
4	3	3	Samsung, South Korea	2,965	7.8%	3,125	7.5%	2,881	6.5%
5	7	6	Toshiba, Japan	1,853	16.8%	1,655	17.0%	2,777	27.6%
6	5	5	TSMC ^a , Taiwan	1,874	7.5%	2,068	7.8%	2,215	7.5%
7	8	9	MediaTek, Taiwan	1,430	20.3%	1,460	21.8%	1,730	20.2%
8	6	7	Micron, USA	1,598	9.6%	1,695	11.4%	1,681	11.1%
9	–	–	NXP ^b , Netherlands	–	–	–	–	1,560	16.4%
10	9	12	SK Hynix, South Korea	1,340	8.2%	1,421	8.4%	1,514	10.2%
Top 10 Total				28,655	–	29,359	–	35,395	–

Sumber: Penentu Elektronik. 10 Pembelanja R&D Semikonduktor Teratas tahun 2015. <http://www.electronicsspecifier.com/aroundthe-industry/the-top-10-semiconductor-r-d-spenders-in-2015>; IC Insights 2017. Buletin Riset—Intel Terus Mendorong Pengeluaran Litbang Industri Semikonduktor; IC Insights 2016. Buletin Penelitian—Pertumbuhan Litbang Semikonduktor Melambat pada 2015 [9–11].

a TSMC: Perusahaan Manufaktur Semikonduktor Taiwan.

b NXP: Pengalaman Berikutnya.

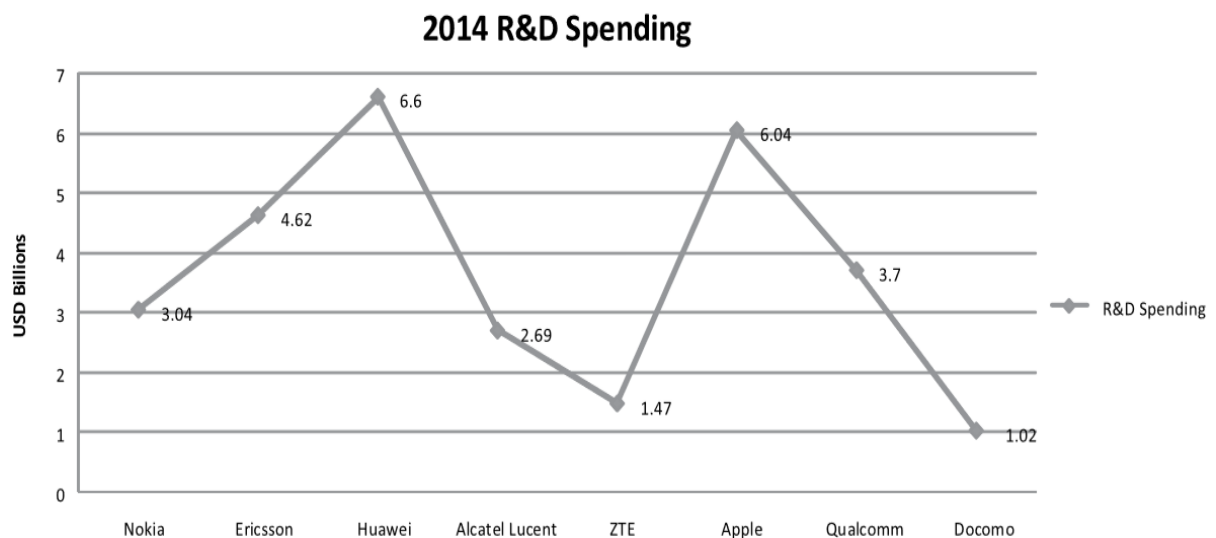
2.3 R&D dalam Telekomunikasi

Tren serupa juga diikuti di bidang telekomunikasi (bagian dari TIK) di mana komunitas vendor terutama mendorong investasi R&D. Sebagian besar komunitas penyedia layanan, di sisi lain, tidak melakukan penelitian yang cukup besar dan bergantung pada hasil R&D vendor. Vendor dan operator terkadang bersama-sama mendirikan pusat inovasi untuk membawa penelitian lebih selaras dengan kepraktisan. Hasil dari usaha patungan tersebut mempercepat tahap pengembangan dan penyebaran produk. Komunitas vendor, secara umum, terdiri dari penyedia infrastruktur jaringan, pengembang semikonduktor, produsen perangkat, dan mungkin pengembang aplikasi yang setiap tahun menghabiskan triliunan rupiah untuk penelitian untuk mendapatkan keunggulan kompetitif dan keuntungan yang lebih besar dalam jangka panjang. Gambar 2.2 menunjukkan pengeluaran R&D dari beberapa pemain kunci di sektor telekomunikasi. Dapat dilihat dengan jelas bahwa vendor berada di kursi pengemudi dan menghabiskan miliaran untuk R&D yang diterapkan. DOCOMO (operator Jepang), yang

memiliki salah satu anggaran R&D terbesar jika bukan terbesar, masih tertinggal dari komunitas vendor^[12-19].

Beberapa contoh portofolio R&D untuk vendor dan operator adalah sebagai berikut ^[20-22].

Apple adalah perusahaan paling berharga di dunia, perusahaan teknologi informasi terbesar di dunia berdasarkan pendapatan^[23], perusahaan teknologi terbesar di dunia berdasarkan total aset^[24], dan produsen ponsel terbesar kedua di dunia^[25]. Sehubungan dengan telekomunikasi, ia merancang, mengembangkan, dan menjual elektronik konsumen seperti produk bermerek iPhone yang terkenal. Ini menghabiskan sekitar 3% dari pendapatannya untuk R&D yang meroket dari Rp. 900 miliar pada tahun 2007 menjadi Rp. 900 triliun pada tahun 2015^[26,27].



Gambar 2.2 Pengeluaran R&D Telekomunikasi.

Fungsi penelitian dan pengembangan Ericsson adalah bagian dari Group Function Technology dan berfokus pada berbagai bidang penelitian, termasuk namun tidak terbatas pada jaringan akses nirkabel, jaringan, radio, dan teknologi cloud. Group Function Technology mendanai kegiatan penelitian dengan beberapa universitas besar dan lembaga penelitian di seluruh dunia. Ini juga memimpin dan mendukung program penelitian di Uni Eropa dan secara substansial berkontribusi pada kegiatan pengembangan standar. Ericsson telah diberikan 39.000 paten, dan merupakan pemegang paten standar-esensial terbesar pada komunikasi seluler. Ini menghabiskan sekitar 15% dari penjualannya untuk pengeluaran R&D^[28].

Huawei memiliki banyak karyawan R&D produk dan solusi, yang terdiri lebih dari 45% dari total tenaga kerjanya di seluruh dunia. Ini menjalankan 16 pusat R&D di beberapa negara yang meliputi Jerman, Swedia, AS, Prancis, Italia, Rusia, India, dan Cina. Ini juga telah mendirikan 28 pusat inovasi bersama dengan operator telekomunikasi terkemuka untuk membawa solusi ke pasar lebih awal dan dengan tantangan implementasi yang lebih sedikit. Huawei berpartisipasi di lebih dari 150 organisasi standar industri. Ini telah diberikan 30.240 paten dan menghabiskan sekitar 13,7% dari pendapatan tahunan perusahaan untuk R&D [29].

Bell Laboratories adalah unit R&D NOICa yang didirikan pada tahun 1925. Kegiatan utamanya diarahkan dari kantor pusatnya yang berbasis di Murray Hill, New Jersey, AS, dan juga mengoperasikan fasilitas R&D di beberapa negara tambahan. Bell Labs berpartisipasi dalam sekitar 100 organisasi standar, memberikan kontribusi kepada lebih dari 200 kelompok kerja

yang berbeda. Ini bekerja sama dengan lebih dari 250 universitas di seluruh dunia. Ini memiliki lebih dari 33.000 paten dan telah menerima tujuh Hadiah Nobel yang dibagikan di antara 12 penelitiannya. Ini menghabiskan sekitar 16% dari penjualan tahunan perusahaan untuk R&D^[30,31].

Qualcomm adalah perusahaan semikonduktor fables dan model bisnisnya dibangun berdasarkan lisensi teknologi. Asosiasi Industri Telekomunikasi A.S. mengadopsi teknologi Qualcomm CDMA (Code Division Multiple Access), yang digunakan di semua standar 3G, sebagai standar seluler pada tahun 1993. Teknologi ini menghabiskan sekitar 20% dari penjualan tahunan perusahaan untuk R&D. Ini memegang salah satu portofolio paten esensial standar terbesar dalam komunikasi seluler^[32]. Ini secara aktif terlibat dengan akademisi dan banyak bekerja sama dengan organisasi pengembangan standar.

Orange Labs adalah cabang R&D France Telecom yang terdiri dari 18 laboratorium di (Inggris Raya, Prancis, Polandia, Cina, Korea, Jepang, Yordania, Mesir, dan AS) dan beberapa pusat teknologi. Technocenter adalah inkubator untuk proyek-proyek dengan potensi inovasi tinggi. Selain itu, tujuan technocenters adalah untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk membawa konsep ke pasar. Ini secara aktif berkontribusi pada kelompok badan standardisasi regional dan global. Orange mencurahkan sekitar 2% dari pendapatannya untuk penelitian dan pengembangan^[33].

NTT DOCOMO R&D (Nippon Telegraph and Telephone do communications over the mobile network) telah menjadi yang terdepan dalam teknologi mobile, tidak hanya di Jepang, tetapi juga dalam skala global. Selama tahun 2014, ia menciptakan salah satu lab pertama yang didedikasikan untuk melakukan R&D pada 5G dan untuk mempercepat pekerjaan pada standardisasinya. Ini memberikan kontribusi sekitar 2,5% dari pendapatan untuk penelitian dan pengembangan^[34].

Terbukti dari contoh dan ilustrasi di atas bahwa komunitas vendor menghabiskan lebih dari 10% pendapatannya untuk R&D, sedangkan pengeluaran operator berkisar sekitar 2% (jika ada). Pengeluaran R&D oleh beberapa operator terbesar mencapai beberapa ratus miliar rupiah, sedangkan untuk produsen skala besar mencapai miliaran. Orange Labs dan DOCOMO adalah dua pembelanja R&D utama dalam komunitas operator, sedangkan sebagian besar penyedia layanan tidak menyisihkan anggaran untuk R&D.

2.4 Proses R&D dalam Telekomunikasi

Vendor dan startup yang sudah mapan selalu berusaha untuk membawa penelitian dan inovasi kepada pelanggan mereka, yaitu operator. Dalam sebagian besar kasus, operator memiliki keputusan akhir apakah akan membawa inovasi pemasok ke tingkat berikutnya atau tidak. Pemasok mapan, besar atau kecil, memiliki kantong yang lebih dalam dan lebih berpengaruh terhadap operator dibandingkan dengan perusahaan rintisan. Startup menghabiskan banyak waktu mencari dana dari perusahaan modal ventura dan dukungan dari operator untuk inkubasi teknologi mereka.

Saat penelitian mulai matang, pemasok mulai bekerja untuk menjual ide-ide mereka, yang mengarah pada pengembangan teknologi (atau inkubasi teknologi untuk startup). Pengembangan teknologi memungkinkan pengembangan dan peningkatan solusi praktis. Teknologi pertama-tama biasanya distandarisasi dan kemudian digunakan selama pengembangan produk.

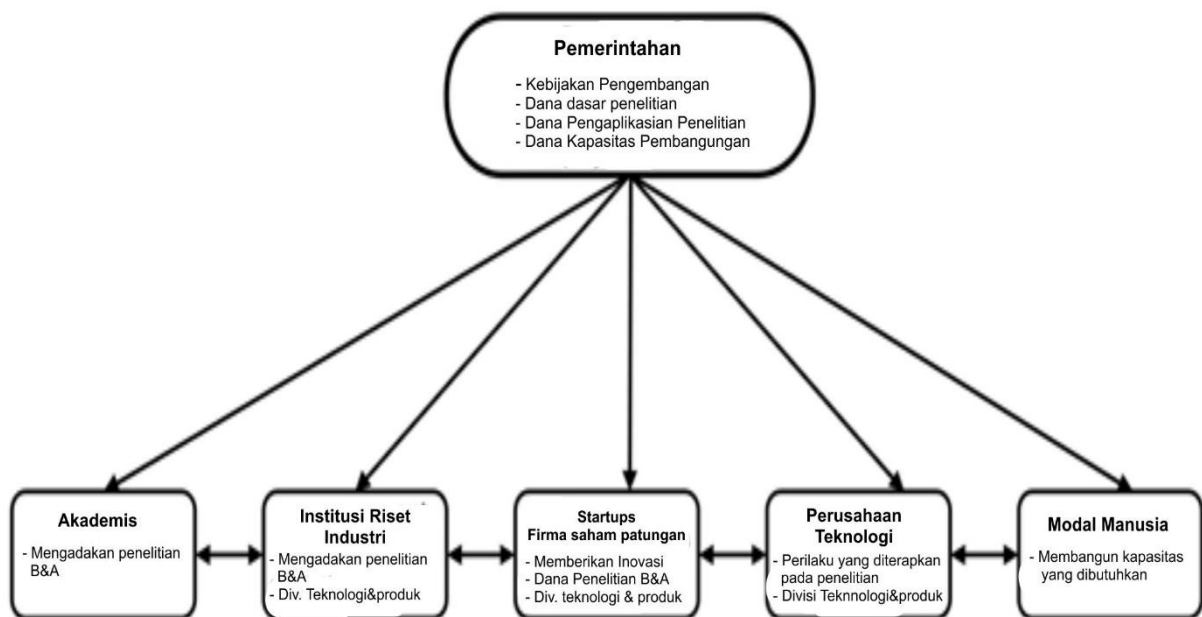
2.4.1 Contoh

Pertimbangkan kasus keragaman antenna di ponsel yang telah menjadi komponen mendasar dari jaringan dan perangkat 3G, LTE, 4G, dan akhirnya 5G. Keragaman antenna (suatu bentuk antenna pintar⁴) adalah tentang memiliki lebih dari satu antenna baik dalam arah pancar atau terima atau keduanya untuk meningkatkan jangkauan dan kapasitas jaringan telekomunikasi.

Sekitar dua puluh tahun yang lalu, pada 1990-an, itu adalah ide baru dan belum terbukti secara komersial. Akademisi, pemasok, dan perusahaan rintisan sangat terlibat dalam meletakkan tangan mereka di sekitar antenna pintar, termasuk MIMO (multiple-input multiple-output). Selama itu, beberapa startup seperti Metawave Communications, malah menghilang karena kurang diminati operator.

Akhirnya, kemunculan 3G dan data pada awal 2000-an membawa teknik antenna pintar ke tingkat yang lebih praktis. Pengujian dan evaluasi berlangsung lebih cepat dengan keterlibatan operator. Salah satu penyelidikan tersebut^[36] dalam bentuk memiliki dua antenna penerima (keragaman penerimaan seluler) di handset 3G mengungkapkan perolehan kapasitas suara dan data lebih dari 3 dB⁵ di tautan maju (stasiun pangkalan ke seluler). Investigasi tersebut kemudian menghasilkan standarisasi skala penuh dari solusi antenna pintar atau solusi keragaman antenna, yaitu MIMO (Multiple Input Multiple Output). MIMO melibatkan penambahan elemen antenna di stasiun pangkalan dan di terminal. MIMO adalah fitur utama LTE dan LTE-Advanced dan diharapkan juga untuk sistem 5G.

2.5 Penguatan Ekosistem R&D ICT



Gambar 2.3 Ekosistem Litbang ITC

Selama beberapa dekade terakhir, perkembangan industri ITC memiliki dampak positif pada hampir setiap aspek ekonomi global dan keluarga global. Kelanjutan tren positif ini sangat bergantung pada kesehatan ekosistem penelitian ITC Ekosistem penelitian yang kuat (Gambar

⁴A smart antenna is a digital wireless communications antenna system that takes advantage of the diversity effect at the source (transmitter), the destination (receiver) or both^[35].

⁵ 3 dB or 3 decibels represents a ratio of two to one or a doubling of power.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

2.3) terdiri dari kebijakan pemerintah yang kuat, universitas dan lembaga penelitian industri yang energik, perusahaan rintisan yang baru muncul, perusahaan teknologi yang matang, pendanaan untuk teknologi dasar dan terapan dari lembaga pemerintah dan swasta (termasuk perusahaan modal ventura), dan kumpulan besar dari peneliti berbakat. Hanya beberapa negara yang memiliki semua bahan yang diperlukan untuk membangun dan memelihara ekosistem penelitian ITC yang dinamis. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi yang kuat di tingkat global agar satu negara dapat mengatasi elemen yang hilang dari negara lain^[6,37-40].

Elemen penting untuk kelanjutan ekosistem ini adalah investasi dalam penelitian dasar, yang hampir tidak ada, khususnya di sektor TIK, di seluruh dunia. Sebagian besar investasi sejak dekade terakhir telah mengalir ke penelitian terapan untuk pengembalian segera. Tren ini diperkirakan akan terus berlanjut karena perusahaan ITC beroperasi di lingkungan yang sangat kompetitif dan terkomoditi, yang memaksa mereka untuk segera membawa produk ke pasar dengan margin tipis.

2.6 Contoh

Contoh sempurna dari tren semacam itu dapat disaksikan di Bell Laboratories (organisasi R&D NOICa). Bell Labs sangat terlibat dalam penelitian ITC dasar jangka panjang sebelum restrukturisasi pada 1980-an. Bentuk penelitian khusus itu didanai melalui biaya yang dinilai pada perusahaan yang mengoperasikan Bell dan mengandalkan dukungan pemerintah federal. Dengan demikian, aliran dana penelitian yang stabil dijamin untuk penelitian dasar dalam sistem Bell. Penelitian dasar ini menghasilkan penemuan sejumlah teknologi luar biasa, termasuk tetapi tidak terbatas pada transistor (1947), sel fotovoltaik (1954), laser (1958), dan sistem operasi Unix (1969)^[6].

Setelah restrukturisasi dan khususnya setelah Alcatel-Lucent mengambil alih, ia mulai berhemat dan menempatkan fokus yang lebih besar pada penelitian terapan. Selama tahun 1980-an, Bell Labs memiliki sekitar 25.000 karyawan, sekitar 30.000 pada tahun 2001, dan baru-baru ini pada tahun 2014 hanya memiliki 700 karyawan, yang tentunya sangat mengganggu. Singkatnya, dana penelitian secara keseluruhan telah berkurang secara signifikan dibandingkan dengan tahun 1980-an dan sekarang kami tidak mendengar penemuan baru yang datang dari laboratorium tersebut.

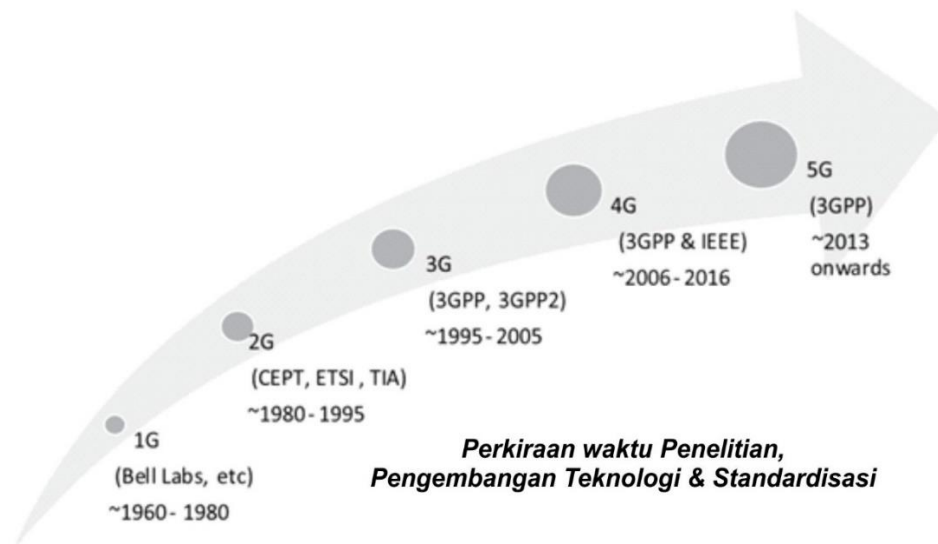
2.7 Sugesti Level Tinggi

Sangat penting bahwa industri ITC global dan pemerintah tidak hanya fokus pada hal-hal yang mereka yakini akan membawa keuntungan ekonomi dalam jangka pendek. Namun, pada saat yang sama, mereka juga harus mencurahkan sumber daya, baik manusia dan modal, untuk mengeksplorasi hal-hal yang dapat merevolusi industri dan membawa pengetahuan dan pemahaman kita ke tingkat berikutnya.

Lebih jauh lagi, sektor telekomunikasi harus melihat melampaui siklus evolusi 10 tahun (Gambar 2.4) dan juga memikirkan masa depan jangka panjang; mungkin memiliki rencana/visi ICT 30 sampai 40 (2040/2050) tahun dari ITU (Internasional Telecommunications Union) akan menjadi titik awal yang baik. Selain itu, untuk keberlanjutan jangka panjang ekosistem penelitian TIK, hal-hal berikut ini sangat penting.

- Investasi yang konsisten dan cukup besar dalam penelitian dasar oleh pemerintah

- Penekanan kembali pada penelitian dasar dari lembaga penelitian industri bersama dengan fokus lanjutan pada penelitian terapan
- Upaya besar untuk mengurangi kesenjangan R&D antara negara maju dan berkembang
- Penekanan pada kesenjangan yang wajar dari satu generasi telekomunikasi ke generasi berikutnya untuk memungkinkan pengembalian investasi.



Gambar 2.4 Evolusi generasi telekomunikasi.

2.8 Kesimpulan

Evolusi konstan dalam telekomunikasi diakui baik sebagai penggerak pasar dan sebagai pendorong R&D, karena kegiatan R&D dibangun untuk mendukung permintaan konsumen dan bisnis.

Tekanan pasar dan resesi masa lalu baru-baru ini telah banyak mengalihkan fokus perusahaan ke pengembangan produk dan penelitian tambahan, daripada berinovasi untuk masa depan dan menyemai pengembangan teknologi. Fokus saat ini pada keuntungan jangka pendek telah membuka jalan bagi penelitian terapan ke tingkat terjauh. Ada lebih banyak fokus pada "D" daripada "R" di dunia saat ini. Upaya dan investasi dalam penelitian dasar telah berkurang, sehingga kerja keras yang tulus dan konsisten diperlukan baik di tingkat pemerintah maupun industri untuk kebangkitannya.

Penelitian dan pengembangan teknologi, yang merupakan landasan dari segala bidang ilmu pengetahuan dan teknologi, dijelaskan dari sudut pandang ITC dengan fokus utama pada industri telekomunikasi. Ekosistem penelitian beserta kekurangannya juga dihadirkan. Adalah penting bahwa pemerintah dan industri ITC mengevaluasi kembali ekosistem R&D dan mempertimbangkan untuk memiliki pandangan 3 hingga 5 tahun bersama dengan visi panjang 30 hingga 40 tahun.

2.9 Pertanyaan

1. Bedakan antara penelitian Dasar versus Terapan dan berikan sebuah contoh.
2. Apa manfaat dari pusat inovasi bersama Operator/Vendor?
3. Apa yang dimaksud dengan keragaman penerimaan seluler?
4. Apa bahan utama dari ekosistem penelitian yang kuat?

5. Mengapa penelitian dasar berkurang di sektor TIK?
6. Diskusikan dalam kelompok bagaimana meningkatkan kedudukan penelitian dasar di bidang telekomunikasi dan ekosistem R&D secara keseluruhan?

2.10 Referensi

1. Bush, V. 1945. Science, the Endless Frontier: A Report to the President. United States Government Printing Office, Washington, USA.
2. National Science Foundation 1953. What Is Basic Research?
3. Noll, M.A. 2003. Basic Research in Telecommunications. Annenberg School for Communication at the University of Southern California, Columbia Institute for Tele-Information at Columbia University, Guglielmo Marconi International Fellowship Foundation at Columbia University.
4. The University of Texas at El Paso. Basic vs. Applied. Research. http://cosrvfile00.utep.edu/couri/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=243
5. Townes, C.H. 1999. How the Laser Happened: Adventures of a Scientist. Oxford University Press, New York, NY, USA.
6. Andersen, J.C. and Coffey, D. 2011. U.S. ICT R&D Policy Report: The United States: ICT Leader or Laggard? TIA Innovation White Paper. U.S. ICT R&D Policy Report Telecommunications Industry Association.
7. Battelle and R&D Magazine 2016. 2016 Global R&D Funding Forecast.
8. Battelle and R&D Magazine 2013. 2014 Global R&D Funding Forecast.
9. Electronic Specifier. The Top 10 Semiconductor R&D Spenders in 2015. <http://www.electronicspecifier.com/around-the-industry/the-top-10-semiconductor-r-d-spenders-in-2015>
10. IC Insights 2017. Research Bulletin—Intel Continues to Drive Semiconductor Industry R&D Spending.
11. IC Insights 2016. Research Bulletin—Semiconductor R&D Growth Slows in 2015.
12. Arthur D. Little 2013. Suppliers—On the Road to Redemption?
13. NOICA Corporation 2015. NOICA in 2014.
14. Ericsson 2015. Welcome to the Networked Society, Ericsson Annual Report 2014.
15. Truong, A. 2015. Huawei's R&D Spend Is Massive Even by the Standards of American Tech Giants, Quartz. <http://qz.com/374039/huaweis-rd-spend-is-massive-even-by-the-standards-of-american-tech-giants/>
16. Alcatel-Lucent 2014. 2014 Annual Report on Form 20-F.
17. Telecompaper 2015. 4G Drives Increase in ZTE Results. <http://www.telecompaper.com/news/4g-drives-increase-in-zte-results--1073194>
18. Quiller Media, Inc. 2014. Apple Spent Record \$1.7B on Research & Development Last Quarter, \$6B in Fiscal 2014. <http://appleinsider.com/articles/14/10/28/apple-spent-record-17b-on-research-development-last-quarter6b-in-fiscal-2014>
19. NTT Docomo 2015. Financial Indicators. <https://www.nttdocomo.co.jp/english/corporate/ir/finance/indicator/>
20. Applied Value 2015. Financial Performance & Trends in the Telecom Industry.
21. JSON.TV 2014. R&D Policy of the Largest Global Telecommunication Companies. http://json.tv/en/ict_telecom_analytics_view/rd-policy-of-the-largest-global-telecommunicationcompanies-2014090101540859
22. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

23. Fortune 2015. The Top Technology Companies of the Fortune 500. <http://fortune.com/2015/06/13/fortune-500-tech/>
24. Forbes 2015. The World's Largest Tech Companies: Apple Beats Samsung, Microsoft, Google. <http://www.forbes.com/sites/liyanchen/2015/05/11/the-worlds-largest-tech-companies-apple-beats-samsungmicrosoft-google/#14b0ca3d415a>
25. AOL Tech (Engadget) 2015. Huawei Passes Microsoft as Third-Largest Mobile Phone Maker. <http://www.engadget.com/2015/07/31/huawei-microsoft-smartphone-sales/>
26. Campbell, M. 2015. Apple R&D Spending Hit \$8.1B in 2015, Suggests Continued Work on Massive Project. <http://appleinsider.com/articles/15/10/28/apple-rd-spending-hit-81b-in-2015-suggests-continuedwork-on-massive-projectS>
27. Statista Inc. 2015. Apple Inc's Expenditure on Research and Development from 2007 to 2015 (in billion U.S. dollars). <http://www.statista.com/statistics/273006/apple-expenses-for-research-and-development/>
28. Ericsson. <http://www.ericsson.com/>
29. Huawei, Research and Development. <http://www1.huawei.com/en/about-huawei/corporate-info/researchdevelopment/index.htm>
30. Bell Labs, History of Bell Labs. <https://www.bell-labs.com/about/history-bell-labs/>
31. Alcatel-Lucent 2015. Fast Facts. <http://www3.alcatel-lucent.com/wps/portal/BellLabs/AboutBellLabs/FastFacts>
32. Baron, J. and Pohlmann, T. 2015. Mapping Standards to Patents Using Databases of Declared Standard Essential Patents and Systems of Technological Classification.
33. Orange 2016. Innovation. <http://www.orange-business.com/en/innovation>
34. The Japan Times Ltd 2014. DoCoMo Counting on R&D to Stay Ahead. <http://www.japantimes.co.jp/news/2013/05/25/business/docomo-counting-on-rd-to-stay-ahead/#.VwefzPI97IU>
35. TechTarget, Smart Antenna. <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/smart-antenna>
36. Asif, S. 2004. Mobile Receive Diversity Technology Improves 3G Systems Capacity. 2004 IEEE Radio and Wireless Conference, Atlanta, GA, Sep. 19–22, 2004, pp. 371–374.
37. Telecommunications Industry Association 2011. Investing in Telecom for Tomorrow's Innovations: Recommendations for Telecommunications Research and Development.
38. Finpro, Tekes, Verso-Program 2010. China Runway: Guide for ICT companies.
39. European Commission 2011. Orientations for EU ICT R&D & Innovation Beyond 2013, 10 Key Recommendations—Vision and Needs, Impacts and Instruments. Report from the Information Society Technologies Advisory Group (ISTAG).
40. Slywotzky, A. 2009. The Future of Tech—Where Have You Gone, Bell Labs? Bloomberg Businessweek Magazine. http://www.businessweek.com/magazine/content/09_36/b4145036681619.htm

BAB 3

SPEKTRUM FREKUENSI RADIO

Spektrum elektromagnetik adalah rentang semua jenis radiasi elektromagnetik yang mencakup gelombang radio hingga sinar gamma (Gambar 3.1). Progresi dari gelombang radio (panjang gelombang terpanjang) ke sinar gamma (panjang gelombang terpendek⁶) juga merupakan urutan dari segi energi dari terendah ke tertinggi, yaitu energi yang dibawa oleh gelombang radio rendah sedangkan sinar gamma membawa energi tinggi^[1].

Komunikasi seluler bergantung pada spektrum radio untuk menjalankan tugasnya. Istilah spektrum radio mengacu pada rentang frekuensi dari 3 kHz hingga 300 GHz yang sesuai dengan panjang gelombang mulai dari 100 km hingga 1 mm. Pertukaran informasi terjadi dengan memvariasikan amplitudo, fase, dan frekuensi gelombang radio pembawa. Spektrum radio ini adalah salah satu sumber daya yang paling ketat diatur di dunia saat ini. Dari ponsel hingga perangkat TV penyiaran, oven microwave hingga pembuka pintu garasi, urusan maritim hingga pelacakan penerbangan, hampir setiap komunikasi nirkabel bergantung pada akses ke spektrum frekuensi radio.

Bab ini akan menyajikan proses alokasi dan identifikasi frekuensi di tingkat global dan beberapa solusi teknis dan keuangan potensial untuk mengatasi kebutuhan spektrum 5G.

3.1 Spektrum Radio dan Komunikasi Seluler

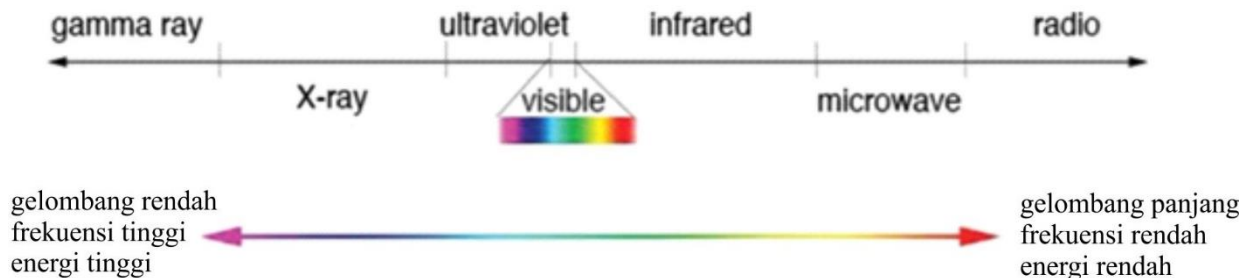
Komunikasi seluler 2G/3G/4G saat ini terutama menggunakan frekuensi dalam kisaran 700 MHz hingga 42 GHz. Selain itu, beberapa komunikasi terjadi dalam rentang 400 MHz dan 70/80 GHz, namun penggunaan rangkaian frekuensi ini relatif sangat kecil (seperti jarum di tumpukan jerami). Frekuensi dialokasikan oleh Sektor Komunikasi Radio Persatuan Telekomunikasi Internasional (ITU-R) melalui Konferensi Komunikasi Radio Dunia (WRC) baik pada basis primer maupun sekunder. Pada skala yang lebih luas, pembagian spektrum alokasi primer dengan layanan primer dan/atau sekunder lainnya belum dicoba. Misalnya, pita 698–806 MHz secara historis dialokasikan oleh ITU-R pada basis utama untuk penyiaran dan penggunaan seluler, tetapi hanya digunakan untuk penyiaran dan bukan untuk penggunaan seluler di AS (yaitu, tidak ada pengambilan tempat). Selama 2008-09, Komisi Komunikasi Federal atau FCC melelang pita ini untuk komunikasi seluler sambil menghentikan siaran televisi dalam rentang yang sama, sehingga mengurangi kesempatan untuk berbagi apa pun di antara kedua layanan tersebut^[3].

5G membayangkan penggunaan aplikasi dan layanan broadband berkapasitas tinggi yang akan membutuhkan spektrum dalam jumlah besar. Di luar broadband seluler yang berlebihan dan gigabit kecepatan data, aplikasi seperti Internet of Things, penggunaan sensor nirkabel, dan sebagainya mengharuskan pencarian spektrum tambahan. Sudah diketahui secara luas bahwa dunia akan membutuhkan tambahan 1000 atau lebih MHz untuk memenuhi permintaan broadband seluler pada tahun 2020. Kelangkaan spektrum muncul sebagai salah satu masalah utama untuk 5G dan sejauh ini dunia belum menemukan solusi atau solusi (seperti pembaca akan lihat nanti di bab ini). ITU melalui World Radiocommunication Conference 2015 (WRC-15) hanya mengalokasikan 51 MHz untuk IMT (Internasional Mobile Telecommunications) dalam skala global, yang cukup kecil dibandingkan dengan yang dibutuhkan. Namun, konferensi telah mengidentifikasi beberapa pita di kisaran 24,25-86 GHz untuk studi untuk mengatasi

⁶ Satu panjang gelombang sama dengan jarak antara dua puncak atau lembah gelombang yang berurutan.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

persyaratan ini. Berbagi dan studi kompatibilitas dari band-band ini diharapkan akan dibagikan selama WRC-19; dengan demikian kita dapat mengharapkan untuk menemukan spektrum tambahan untuk 5G dan broadband pada waktunya.

Selain itu, teknik inovatif diperlukan untuk memperkenalkan pembagian spektrum dan mengelola implikasi desain antarmuka udara secara efektif. Dan spektrum juga harus dikelola dan diatur untuk menghindari kemacetan terkait interferensi.



Gambar 3.1 Spektrum elektromagnetik. (Dari NASA 2013. Bayangkan Alam Semesta. <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html> [2].)

3.2 Identifikasi dan Alokasi Frekuensi

ITU-R adalah badan yang mengidentifikasi pita frekuensi untuk hampir semua jenis komunikasi nirkabel di seluruh dunia. Jenis-jenis ini termasuk tetapi tidak terbatas pada penerbangan, penyiaran, maritim, komunikasi bergerak, perlindungan publik dan bantuan bencana, layanan satelit, dan sebagainya. Alokasi dan identifikasi frekuensi dilakukan di WRC ITU. Acara antar-pemerintah ini berlangsung setiap tiga hingga empat tahun untuk memenuhi kebutuhan dunia yang terkait dengan frekuensi. WRC adalah konferensi paling signifikan terkait spektrum frekuensi yang diselenggarakan oleh ITU dengan mandat untuk meninjau, dan, jika perlu, merevisi peraturan radio yang mengatur penggunaan sumber daya yang langka, yaitu spektrum frekuensi.

Sejauh menyangkut komunikasi bergerak, frekuensi harus dialokasikan terutama untuk komunikasi bergerak dan mungkin harus diidentifikasi untuk Telekomunikasi Seluler Internasional (IMT). Kedua, ini harus dialokasikan untuk tautan komunikasi nirkabel tetap untuk mendukung backhaul di jaringan seluler yang disebut sebagai layanan tetap dalam Tabel Alokasi Frekuensi (TFA) yang dikelola oleh ITU di tingkat Internasional. Secara sederhana, frekuensi harus diidentifikasi untuk komunikasi nirkabel yang terjadi antara pengguna seluler dan menara seluler dan antara menara seluler (yaitu, backhaul terestrial menggunakan radio gelombang mikro). Terakhir, link berbasis satelit juga digunakan untuk mendukung lalu lintas backhaul di daerah terpencil dan jauh. Dengan demikian, beberapa pita frekuensi yang dialokasikan untuk komunikasi satelit digunakan dalam jaringan bergerak dalam bentuk VSAT (Very Small Aperture Terminal), tetapi secara keseluruhan, penggunaannya relatifnya cukup kecil dibandingkan dengan frekuensi yang digunakan untuk komunikasi antar pengguna dan menara ponsel dan di backhaul terestrial. Tabel 3.1 menunjukkan berbagai pita yang telah dialokasikan untuk layanan bergerak dan tetap di ketiga wilayah ITU⁷ dengan basis primer.

⁷ Sesuai Pasal 5 Peraturan Radio ITU: Wilayah 1 terdiri dari Eropa, Afrika, bekas Uni Soviet, Mongolia, dan Timur Tengah di barat Teluk Persia, termasuk Irak; Wilayah 2 meliputi Amerika termasuk Greenland dan beberapa Kepulauan Pasifik timur; Wilayah 3 meliputi non-FSU (bekas Uni Soviet) timur dan termasuk Iran dan sebagian besar Oseania^[5,6].

Tantangan yang harus diperhatikan adalah bahwa alokasi untuk komunikasi seluler tidak serta merta menjamin penggunaannya untuk IMT, dan di dunia saat ini, identifikasi untuk IMT telah menjadi persyaratan yang diperlukan untuk komunikasi broadband. Sejauh ini, hanya beberapa pita yang telah diidentifikasi untuk IMT dan ini ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Alokasi Pelayanan Seluler

Frequency	Region 1	Region 2	Region 3
410–430 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
440–470 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
470–890 MHz	790–862 FIXED, MOBILE 862–890 FIXED, MOBILE	698–806 MOBILE 806–890 FIXED, MOBILE 890–902 FIXED, MOBILE 902–928 FIXED 928–960 FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
890–960 MHz	890–960		890–960
1427–1525 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
1525–1530 MHz	FIXED	–	FIXED
1668.4–1690 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
1700–1710 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
1710–2170 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
2170–2520 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
2520–2690 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
2700–4800 MHz	3400–4200 FIXED 4400–4800 FIXED, MOBILE	3400–3500 FIXED 3500–4200 FIXED, MOBILE 4400–4800 FIXED, MOBILE	3400–3500 FIXED 3500–4200 FIXED, MOBILE 4400–4800 FIXED, MOBILE
4800–5000 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
5150–5350 MHz	MOBILE	MOBILE	MOBILE
5470–5725 MHz	MOBILE	MOBILE	MOBILE
5850–8500 MHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
10–10.45 GHz	FIXED, MOBILE	–	FIXED, MOBILE
10.5–10.68 GHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
10.7–11.7 GHz	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE	FIXED, MOBILE
11.7–14 GHz	11.7–12.5 FIXED, MOBILE 12.75–13.25 FIXED, MOBILE	11.7–12.1 FIXED 12.2–13.25 FIXED, MOBILE	11.7–13.25 FIXED, MOBILE
14–15.4 GHz	14.3–14.4 FIXED, MOBILE 14.4–15.35 FIXED, MOBILE	14.4–15.35 FIXED, MOBILE	14.3–14.4 FIXED, MOBILE 14.4–15.35 FIXED, MOBILE
15.4–18.4 GHz	17.7–18.1 FIXED, MOBILE 18.1–18.4 FIXED, MOBILE	17.7–17.8 FIXED 17.8–18.1 FIXED, MOBILE 18.1–18.4 FIXED, MOBILE	17.7–18.1 FIXED, MOBILE 18.1–18.4 FIXED, MOBILE
18.4–22 GHz	18.4–19.7 FIXED, MOBILE 21.2–22 FIXED, MOBILE	18.4–19.7 FIXED, MOBILE 21.2–22 FIXED, MOBILE	18.4–19.7 FIXED, MOBILE 21.2–22 FIXED, MOBILE
22–24.75 GHz	22–23.6 FIXED, MOBILE 24.25–24.75 FIXED	22–23.6 FIXED, MOBILE	22–23.6 FIXED, MOBILE 24.25–24.75 FIXED, MOBILE
24.75–29.9 GHz	24.75–25.25 FIXED 25.25–29.5 FIXED, MOBILE	– 25.25–29.5 FIXED, MOBILE	24.75–25.25 FIXED 25.25–29.5 FIXED, MOBILE
29.9–34.2 GHz	31–31.3 FIXED, MOBILE 31.8–33.4 FIXED	31–31.3 FIXED, MOBILE 31.8–33.4 FIXED	31–31.3 FIXED, MOBILE 31.8–33.4 FIXED
34.2–40 GHz	36–40 FIXED, MOBILE	36–40 FIXED, MOBILE	36–40 FIXED, MOBILE
40–43.5 GHz	40–40.5 FIXED, MOBILE 40.5–43.5 FIXED	40–40.5 FIXED, MOBILE 40.5–43.5 FIXED	40–40.5 FIXED, MOBILE 40.5–43.5 FIXED
71–76 GHz	71–76 FIXED, MOBILE	71–76 FIXED, MOBILE	71–76 FIXED, MOBILE
81–86 GHz	81–86 FIXED, MOBILE	81–86 FIXED, MOBILE	81–86 FIXED, MOBILE

Sumber: ITU-R 2016. *Final Acts Konferensi Komunikasi Radio Dunia WRC-15 2015*^[4].

Catatan:

1. Hanya alokasi utama untuk layanan bergerak dan tetap yang ditunjukkan pada Tabel. Mungkin ada alokasi utama tambahan untuk layanan lain di pita ini juga. Alokasi utama ditunjukkan dalam huruf kapital sesuai TFA.
2. Alokasi pita tertentu untuk layanan tertentu ke Wilayah tertentu tidak berarti bahwa semua negara di kawasan harus memenuhi alokasi khusus tersebut. Setiap negara dapat membuat pengecualian.

3. Setiap negara dengan izin negara tetangga dapat mengalokasikan pita frekuensi untuk dirinya sendiri jika tidak berada di TFA. Rincian pengecualian ini, yang disediakan dalam bentuk catatan kaki, dapat ditemukan di^[4].
4. Hanya frekuensi antara 400 MHz hingga 42,5 GHz dan 71–76 GHz dan 81–86 GHz yang saat ini digunakan dalam jaringan seluler dan/atau diidentifikasi dalam WRC-15 yang tercantum dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Identifikasi Worldwide IMT

Region 1	Region 2	Region 3
450–470 MHz	450–470 MHz	450–470 MHz
694–790	698–960	698–790
790–960		
1710–1885	1710–1885	1710–1885
1885–2025	1885–2025	1885–2025
2110–2200	2110–2200	2110–2200
2300–2400	2300–2400	2300–2400
2500–2690	2500–2690	2500–2690
3400–3600	—	3400–3600

Sumber: ITU-R 2016. *Final Acts Konferensi Komunikasi Radio Dunia WRC-15 2015; GSMA 2014. Dampak Penggunaan Bersama Berlisensi dari Spektrum. Laporan oleh Deloitte dan Real Wireless*^[4,7].

3.3 Kebutuhan Spektrum frekuensi 5G

Seperti diketahui bahwa ketersediaan pita spektrum baru merupakan persyaratan utama untuk penyediaan layanan 5G atau IMT-2020. ITU-R memperkirakan bahwa total kebutuhan spektrum global untuk IMT akan berada di kisaran 1340 (untuk pengaturan kepadatan pengguna yang lebih rendah) hingga 1960 MHz (untuk pengaturan kepadatan pengguna yang lebih tinggi) untuk tahun 2020^[8].

Alokasi spektrum diperlukan tidak hanya di antarmuka udara, tetapi juga untuk backhaul dan sampai batas tertentu di fronthaul. Fronthaul adalah penghubung antara kumpulan base band unit dan remote radio unit (RRUs) yang secara kolektif membentuk konsep C-RAN (cloud/centralized radio access network). Backhaul (leg pertama antara RRU dan Core Network) merupakan tantangan besar bagi 5G, tetapi sampai batas tertentu, hal itu dapat dipenuhi dengan media kabel seperti kabel serat optik dan teknologi seperti saluran pelanggan digital kecepatan bit sangat tinggi 2, dan seterusnya. Namun, sebagian besar, antarmuka udara (hubungan antara pengguna/perangkat nirkabel dan unit radio jarak jauh) adalah tempat sebagian besar spektrum diperlukan.

Hampir setiap pita frekuensi, terutama hingga 100 GHz seperti yang tercantum dalam Tabel 3.1 dan 3.2, cukup banyak digunakan dan sudah pasti bahwa sektor ini akan membutuhkan tambahan 1000–2000 MHz pada tahun 2020. Dengan mengingat tantangan ini, baru-baru ini menyelesaikan WRC-15 mengidentifikasi beberapa ratus megahertz spektrum untuk mobile broadband di tingkat regional. Namun, di tingkat global, WRC-15 hanya mampu mengidentifikasi 51 MHz untuk IMT. Spektrum dialokasikan untuk memastikan harmonisasi di tingkat regional dan global. Harmonisasi ini akan memberikan harga yang lebih rendah untuk produksi peralatan broadband seluler, dan dengan demikian membantu memberikan

broadband yang lebih terjangkau untuk semua. Hasil utama WRC-15 dalam kaitannya dengan IMT adalah sebagai berikut:

a) UHF (470-694/698 MHz) :

- Di Wilayah 1, tidak ada alokasi yang dibuat untuk IMT dan sebagian besar tetap ditugaskan untuk layanan penyiaran.
- Di Wilayah 2, sebagian besar, semua atau sebagian dari pita ini diidentifikasi untuk IMT.
- Di Wilayah 3, pita 610–698 MHz diidentifikasi di dua negara, yaitu Bangladesh dan Selandia Baru, dan lima negara kepulauan.

b) L-Band 1427-1518 MHz :

- 51 MHz dari L-band (1427-1452 MHz dan 1492-1518 MHz) diidentifikasi untuk IMT di seluruh dunia.
- Sebanyak 91 MHz L-band (1427–1452 MHz, 1452–1492 MHz, dan 1492–1518 MHz) diidentifikasi untuk IMT di ITU Wilayah 2 dan 3 dan di beberapa negara Wilayah 1.

Dapat dilihat bahwa alokasi ini jauh lebih sedikit dari yang dibutuhkan. Namun, beberapa band telah diidentifikasi antara 24,25 GHz dan 86 GHz untuk studi untuk mengatasi persyaratan ini (Tabel 3.3). Studi berbagi dan kompatibilitas ini akan selesai pada waktunya untuk WRC-19^[4,9-13].

3.4 Solusi Teknikal

Bagian ini akan membahas secara singkat beberapa solusi yang berpotensi membuka pintu untuk lebih banyak frekuensi untuk 5G. Berbagi spektrum menempati urutan teratas sementara kemajuan dalam semikonduktor, teknologi antena, dan teknik penghindaran interferensi akan memberikan peluang untuk mengekstrak lebih banyak jus dari spektrum yang dialokasikan yang ada.

a) Pembagian Spektrum

Pembagian spektrum didefinisikan sebagai penggunaan pita frekuensi secara kolektif oleh dua pihak atau lebih di wilayah geografis tertentu. Berbagi dapat terjadi di pita berlisensi dan bebas lisensi^[7]. Untuk 5G, berbagi mungkin juga perlu dipertimbangkan dengan pemain lama seperti FSS (layanan satelit tetap), radar, dan sebagainya. Bentuk berbagi ini membutuhkan studi kompatibilitas antara broadband dan incumbent nonmobile yang ITU-R rencanakan untuk diselesaikan bersamaan dengan persiapannya untuk WRC-19.

Berbagi spektrum adalah tantangan tiga dimensi yang tidak hanya perlu memungkinkan frekuensi tetapi juga harus mencakup faktor waktu dan geografis dalam menyediakan akses di berbagai kelas pengguna.

Mekanisme Licensed Shared Access (LSA) memungkinkan pemegang lisensi LSA untuk mengakses spektrum yang telah ditetapkan untuk seorang incumbent. Metode ini memungkinkan berbagi berdasarkan aturan tertentu yang menjamin beberapa tingkat QoS (Quality of Service). Ini berbeda dari pendekatan kognitif tertentu yang memungkinkan akses ke ruang putih TV tanpa izin tanpa jaminan QoS. LSA memungkinkan operator seluler untuk menggunakan/mendapatkan spektrum tambahan pada basis sekunder dan dengan jaminan akses untuk wilayah geografis, kerangka waktu, dan rentang frekuensi yang disepakati. Selanjutnya, berbagi lisensi dapat bersifat horizontal, yang biasanya melibatkan berbagi antara dua pihak yang serupa (seperti dua operator seluler) sedangkan dengan berbagi secara

vertikal, frekuensi dapat dibagi antara berbagai jenis pihak (seperti operator seluler dan organisasi pemerintah)^[7,14]. Semua opsi berbagi berlisensi ini dapat terjadi dalam area tertentu (berbagi geografis), pada waktu tertentu atau acak (berbagi sementara), dan ini perlu dikoordinasikan juga untuk menghindari gangguan yang merugikan^[15]. Pendekatan bebas lisensi, seperti namanya, memungkinkan berbagi di antara pihak-pihak tanpa memerlukan lisensi. Ini memungkinkan akses dan operasi upaya terbaik untuk pembongkaran data dan sebagainya, dan karenanya tidak cocok untuk kinerja kelas operator.

Tabel 3.3 Potensial Bands untuk masa depan pelayanan IMT

Band (GHz)	Bandwidth (GHz)	Key Current Allocation Service
24.25–27.5	3.25	FIXED, FIXED-SATELLITE, EARTH EXPLORATION-SATELLITE, MOBILE, INTER-SATELLITE
31.8–33.4	1.6	FIXED, INTER-SATELLITE, SPACE RESEARCH, RADIONAVIGATION
37–40.5	3.5	FIXED, FIXED-SATELLITE, SPACE RESEARCH, MOBILE, MOBILE-SATELLITE
40.5–43.5	3	FIXED, FIXED-SATELLITE, BROADCASTING, BROADCASTING-SATELLITE
45.5–50.2	4.7	FIXED, FIXED-SATELLITE, MOBILE
50.4–52.6	2.2	FIXED, FIXED-SATELLITE
66–76	10	FIXED, FIXED-SATELLITE, BROADCASTING-SATELLITE, MOBILE, MOBILE-SATELLITE, RADIONAVIGATION, RADIONAVIGATION-SATELLITE
81–86	5	FIXED, FIXED-SATELLITE

Sumber: Americas 2016. Transformasi Broadband Seluler LTE ke 5G. Penelitian Rysavy, LLC; ITU-R 2012. Babak Final Konferensi Komunikasi Radio Dunia WRC-12 2012; ITU-R 2008. Babak Final Konferensi Komunikasi Radio Dunia WRC-07 2007; ITU-R 2000. Kisah Akhir Konferensi Komunikasi Radio Dunia WRC-2000 2000; ITU-R 1997. Kisah Akhir Konferensi Komunikasi Radio Dunia WRC-97 1997^[9–13].

b) Antarmuka Udara

Desain Sebuah pertanyaan utama, yaitu, apakah akan ada antarmuka udara tunggal atau kumpulan antarmuka udara untuk 5G, masih harus diselesaikan. Namun, untuk kelincahan frekuensi, berbagi, koeksistensi, dan efisiensi spektral yang terukur, desain antarmuka udara yang efektif adalah enabler mendasar dan ada beberapa alasan untuk ini^[16].

Pertama, diharapkan ada beberapa pita untuk 5G yang didistribusikan pada rentang frekuensi yang besar sehingga antarmuka udara harus cukup fleksibel untuk mengakomodasi semua pita tersebut. Pita ini bisa bersebelahan/tidak bersebelahan dan bisa turun di mana saja dari sub 1 GHz hingga 100 GHz. Kedua, antarmuka udara harus menangani semua skenario berbagi spektrum yang mungkin. Berbagi dapat dilakukan di pita berlisensi dan tidak berlisensi, dengan atau tanpa keterlibatan jaringan 5G. Tantangan utama yang perlu dikelola terkait sharing adalah interferensi sekaligus mengoptimalkan efisiensi spektrum. Interferensi dapat dikelola dalam berbagai dimensi termasuk interval waktu, sumber frekuensi ortogonal/nonortogonal, lokasi dengan pemisahan yang cukup, kode spasial, dan ortogonal. Last but not least adalah variasi signifikan dalam rasio lalu lintas uplink dan downlink (yang bahkan ada saat ini), yang menyiratkan perlunya desain antarmuka udara yang fleksibel untuk mengelola asimetri lalu lintas secara efektif.

c) Kemajuan Teknologi

Untuk meningkatkan efisiensi spektral pada sistem LTE/LTE-Advanced saat ini, kemajuan dalam desain semikonduktor dan teknologi antena akan menjadi sangat penting. Pita yang

telah diidentifikasi untuk studi untuk layanan 5G/broadband terutama dalam rentang gelombang milimeter (yaitu, 24,25–86 GHz). Dalam rentang frekuensi khusus ini, ada tambahan kehilangan jalur 20-30 dB dibandingkan dengan frekuensi 2 GHz; namun, ini dapat dikompensasikan dengan menggunakan susunan antena bertahap skala besar. Array bertahap skala besar ini layak pada frekuensi yang lebih tinggi karena, ketika frekuensi semakin tinggi, ukuran antena berkurang^[17]. Konsep serupa dari MIMO (Multiple Input Multiple Output) masif yang berlangganan penggunaan beberapa antena baik di ujung transmisi dan penerima telah banyak dibahas dalam literatur untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi spektral untuk 5G.

Mengenai kemajuan dalam semikonduktor, solusi Radio Frequency Integrated Circuit (RFIC) dan MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) yang sangat terintegrasi diinginkan untuk memenuhi ukuran, biaya, dan kebutuhan konsumsi daya produk radio gelombang milimeter broadband kelas atas. Contoh yang baik adalah ketersediaan MMIC untuk produk radio gelombang mikro yang beroperasi pada rentang 70/80 GHz. Namun, tantangan memang ada dan pekerjaan sedang berlangsung untuk penyelesaiannya.

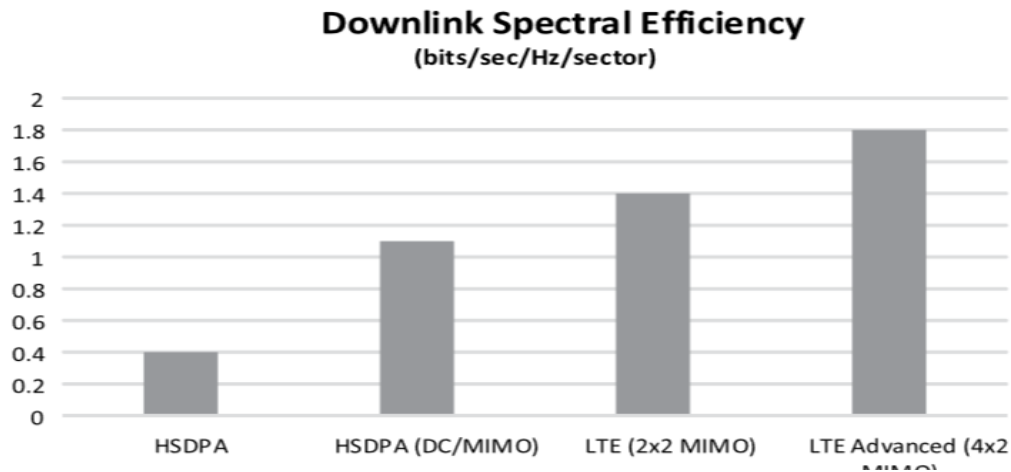
d) Efisiensi Spektral

Ukuran teknis efisiensi untuk spektrum frekuensi disebut efisiensi spektral, yang diukur dalam bit/detik/Hz. Efisiensi spektral mengacu pada tingkat informasi yang dapat ditransmisikan melalui bandwidth tertentu dalam sistem komunikasi tertentu. Banyak hasil yang hadir di Internet yang menunjukkan efisiensi berbagai teknologi seluler. Hasil simulasi versus di lapangan terkadang berbeda sampai batas tertentu karena kebanyakan simulasi dilakukan dalam kondisi mendekati ideal, sedangkan ada pertimbangan praktis dalam menerapkan teknologi di lapangan^[9,18].

Efisiensi spektral puncak dan rata-rata berbeda karena perubahan kondisi radio. Efisiensi spektral puncak dihitung menggunakan throughput tertinggi per sektor yang dicapai dengan kombinasi skema modulasi orde tinggi, laju kode rendah, dan pada SRN (rasio sinyal-ke-noise) tinggi dalam jumlah spektrum tertentu^[18,19]. Dalam istilah praktis, efisiensi spektral rata-rata adalah unit pengukuran yang lebih baik yang mempertimbangkan throughput sel agregat per sektor dalam spektrum yang ditetapkan.

Selain modulasi dan pengkodean, ada faktor lain yang dapat mempengaruhi efisiensi spektrum. Ini termasuk mobile menerima keragaman, teknologi antena MIMO, pemerataan, dan sebagainya. Selanjutnya, efisiensi spektral dapat ditingkatkan dengan menggunakan saluran radio yang lebih luas. LTE menyediakan kira-kira 5% efisiensi spektral yang lebih baik dengan saluran 20 MHz dibandingkan dengan saluran 10 MHz^[9]. Dapat dicatat bahwa efisiensi spektral teknologi radio tidak tergantung pada frekuensi yang digunakannya untuk beroperasi, karena modulasi, pengkodean, dan keragaman antena tetap sama pada frekuensi yang berbeda.

Gambar 3.2 menunjukkan efisiensi spektral dari berbagai teknologi 3G, LTE, dan 4G (LTE-Advanced). Nilai bersifat indikatif dan hasilnya dapat bervariasi tergantung pada kondisi pengujian dan penerapan.



Gambar 3.2 Efisiensi spektral teknologi akses radio.

Catatan : LTE (Long Term Evolution); HSDPA (High Speed Packet Access); DC (Dual Carrier); MIMO (Multiple Input Multiple Output)

3.5 Aspek Finansial

Pendekatan tradisional untuk penilaian spektrum didasarkan pada perkiraan biaya peluang. Metode ini cocok untuk penggelaran lapangan hijau dan jaringan area luas. Biaya peluang ini dihitung dengan penghematan yang dapat dicapai dengan memperoleh spektrum baru dalam jumlah yang tepat daripada berinvestasi di situs sel stasiun pangkalan radio baru (yang akan menggunakan spektrum yang ditetapkan yang ada). Dengan kata lain, tuntutan untuk layanan yang lebih baik dapat dipenuhi baik dengan menambahkan situs sel yang lebih baru (menggunakan spektrum yang ada) atau melalui akuisisi spektrum tambahan (menambahkan lebih banyak peralatan radio ke situs sel yang ada)^[16]. Dalam beberapa kasus, operator mungkin secara bersamaan perlu menyuntikkan modal untuk situs sel tambahan serta spektrum yang lebih baru agar tetap kompetitif.

Dalam penyebaran jaringan seluler makro, biaya yang terkait dengan situs stasiun pangkalan radio adalah yang terbesar termasuk biaya modal dan operasional. Ini termasuk peralatan radio, menara, tiang, listrik, sumber daya alternatif seperti generator dan baterai, peralatan nontelekomunikasi seperti AC, dan biaya operasional seperti instalasi, penyewaan lokasi, dan tagihan listrik. Biaya peralatan jaringan telah turun drastis dalam beberapa tahun terakhir karena persaingan yang ketat. Misalnya, BTS 3G telah diganti dengan node multi-standar (2G/3G/4G) yang lebih efektif.

Namun, densifikasi jaringan dengan banyak sel kecil, yang diharapkan dalam skenario 5G, menjadi rumit. Dalam situasi seperti itu, kepadatan titik akses radio dapat sama dengan atau lebih besar dari jumlah pengguna seluler aktif secara bersamaan. Dalam jaringan yang lebih padat, kecepatan data yang lebih tinggi dan persyaratan kualitas layanan yang lebih ketat mendorong kebutuhan akan spektrum yang lebih banyak.

Penulis di^[16,20] telah menunjukkan bahwa sekitar 2,2 kali densifikasi diperlukan untuk mendukung penggandaan throughput data dalam jaringan yang jarang (stasiun basis jauh lebih sedikit jumlahnya daripada pengguna). Dalam hal ini, throughput pengguna meningkat secara linier dengan kepadatan stasiun pangkalan sementara jumlah spektrum yang sesuai yang dibutuhkan tinggi. Di sisi lain, untuk mendukung penggandaan throughput data di jaringan yang sudah sangat padat, mungkin diperlukan densifikasi 16-20 kali lebih banyak. Sebaliknya, jumlah tambahan spektrum yang dibutuhkan dalam jaringan yang sangat padat

seperti itu, relatif kecil, menyiratkan bahwa spektrum adalah sumber daya yang efektif untuk menangani tugas yang ada.

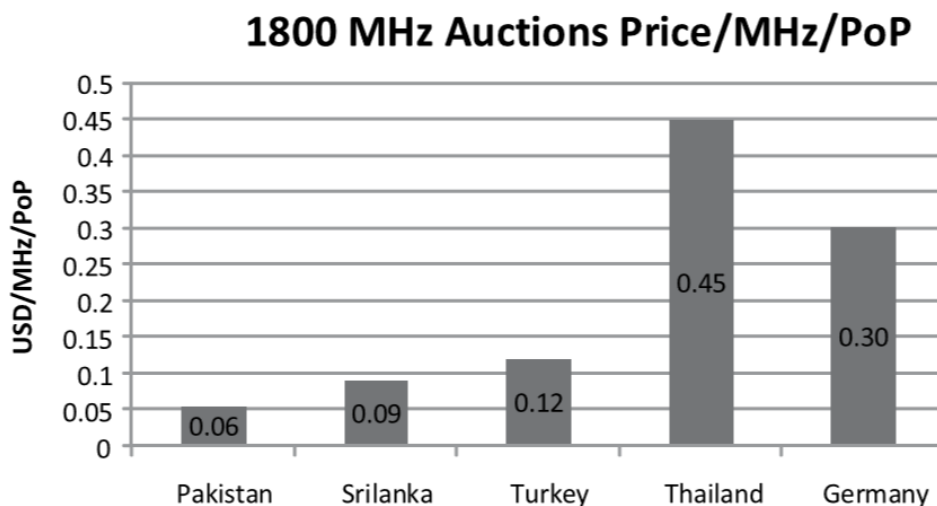
3.6 Nilai Ekonomi Spektrum

Ukuran keuangan yang paling umum untuk spektrum adalah Harga/Megahertz/POP (point-of-presence). Ini adalah harga yang dibayar oleh pembeli untuk satu megahertz spektrum untuk setiap individu dari suatu negara/daerah di mana spektrum akan digunakan. Perlu dicatat bahwa ada variasi harga yang signifikan di berbagai band. Pada saat yang sama, ada puluhan faktor yang berperan dalam menentukan harga spektrum yang digunakan dalam jaringan telekomunikasi termasuk, tetapi tidak terbatas pada, persaingan antar pemain, waktu spektrum, kesehatan keuangan pembeli, pendapatan rata-rata per pengguna (ARPU), lelang sebelumnya, lelang potensial di masa mendatang, dan sebagainya.

Gambar 3.3 menyajikan nilai Harga/Megahertz/POP dari beberapa lelang baru-baru ini yang berlangsung untuk 1800 MHz, salah satu pita paling berharga untuk LTE. Grafik dinormalisasi untuk periode lisensi 15 tahun. Namun, ini bukan perbandingan apel-ke-apel karena setiap pasar memiliki dinamikanya sendiri.

a) Perdagangan Spektrum

Perdagangan spektrum adalah proses yang memungkinkan pemegang lisensi dari sumber daya yang langka untuk mentransfer atau menyewakan hak lisensi kepada entitas lain. Ada berbagai jenis perdagangan spektrum seperti transfer langsung, transfer bersamaan, transfer parsial, dan leasing. Dengan pengalihan langsung, hak dan kewajiban beralih sepenuhnya dari pengalih kepada penerima pengalihan. Dalam hal pengalihan secara bersamaan, baik pihak yang menerima pengalihan maupun pihak yang menerima pengalihan secara bersama-sama memiliki hak untuk menggunakan spektrum, sedangkan dengan pengalihan sebagian, hanya hak-hak tertentu yang dialihkan kepada pihak yang menerima pengalihan dan dapat dibagi berdasarkan frekuensi, geografi atau waktu. Dengan leasing, penyewa tidak memiliki lisensi, tetapi menggunakan spektrum berdasarkan kontrak sewa dengan pemegang lisensi [21].



Gambar 3.3 Harga 1800 MHz/MHz/POP.

Sebuah spektrum dapat disewakan atau disewakan setelah ditetapkan, yang mungkin lebih ekonomis daripada perdagangan skala penuh dalam beberapa keadaan^[22]. Alasan utama mengapa penyedia layanan lebih memilih untuk menyewa atau menyewakan daripada

berdagang adalah bahwa sewa membawa biaya transaksi yang relatif lebih rendah. Alasan lain adalah bahwa leasing menghindari pembayaran biaya dan biaya pemeliharaan, dan yang lebih penting, operator akan tetap memiliki kendali atas spektrum. Regulator harus memainkan peran kunci dalam semua latihan leasing dan perdagangan dan mengelolanya secara efektif.

3.7 Kesimpulan

WRC adalah peristiwa penting yang mengalokasikan frekuensi untuk setiap teknologi/layanan yang memerlukan gelombang udara untuk pengoperasiannya. WRC-15 gagal mengalokasikan jumlah frekuensi yang tepat untuk IMT/5G, namun, WRC-19 diharapkan dapat mengisi celah ini. Bab ini memberikan solusi teknis potensial dan aspek keuangan untuk menangani kekurangan ini. Terakhir dan yang terpenting, harmonisasi spektrum diperlukan untuk memastikan skala ekonomi yang lebih tinggi dan mengurangi gangguan di sepanjang perbatasan.

3.8 Pertanyaan

1. Apa itu spektrum elektromagnetik?
2. Apa itu dengan spektrum radio?
3. Apa peran ITU-R dan WRC dalam manajemen spektrum?
4. Apa persyaratan spektrum yang diantisipasi untuk 5G?
5. Apa itu Pembagian spektrum
6. Apa itu LSA?
7. Mengapa desain antarmuka udara yang efektif diperlukan untuk manajemen spektrum 5G?
8. Berapa efisiensi spektral ketika throughput sektor agregat dalam downlink adalah 1,6 Mbps dalam saluran 5 MHz?
9. Berapa biaya peluang yang terkait dengan spektrum?
10. Apa itu perdagangan spektrum?
11. Teliti pro dan kontra dari pita frekuensi 5G potensial yang tercantum pada Tabel 3.3?

3.9 Referensi

1. Palma, C. 2016. Radio Waves to Gamma-Rays. Pennsylvania State University. https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l3_p4.html
2. NASA 2013. Imagine the Universe. <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>
3. Federal Communications Commission 2008. Auction 73: 700 MHz band – Fact Sheet. http://wireless.fcc.gov/auctions/default.htm?job=auction_factsheet&id=73
4. ITU-R 2016. Final Acts WRC-15 World Radiocommunication Conference 2015.
5. ITU 2012. Radio Regulations Articles Edition of 2012.
6. Wikipedia 2017. ITU Region. https://en.wikipedia.org/wiki/ITU_Region
7. GSMA 2014. The Impact of Licensed Shared Use of Spectrum. Report by Deloitte and Real Wireless.
8. ITU-R 2015. Report of the Conference Preparatory Meeting on Operational and Regulatory/Procedural Matters to the World Radiocommunication Conference 2015.
9. Americas 2016. Mobile Broadband Transformation LTE to 5G. Rysavy Research, LLC.
10. ITU-R 2012. Final Acts WRC-12 World Radiocommunication Conference 2012.
11. ITU-R 2008. Final Acts WRC-07 World Radiocommunication Conference 2007.
12. ITU-R 2000. Final Acts WRC-2000 World Radiocommunication Conference 2000.
13. ITU-R 1997. Final Acts WRC-97 World Radiocommunication Conference 1997.
14. Moore, L.K. 2013. Spectrum Policy in the Age of Broadband: Issues for Congress. Congressional Research Service, Washington, DC, USA.
15. Bazelon, C. and McHerny, G. 2014. Spectrum Sharing Taxonomy and Economics. The Brattle Group.
16. Li, Z. et al. 2015. Deliverable D5.4 Future Spectrum System Concept. Document Number: ICT-317669METIS/D5.4. Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-Twenty Information Society (METIS), April
17. Americas 2015. 5G Spectrum Recommendations.
18. Rysavy, P. 2014. Challenges and Considerations in Defining Spectrum Efficiency. Proceedings of the IEEE, 102(3):386–392.
19. Kim, H. 2015. Coding and Modulation Techniques for High Spectral Efficiency Transmission in 5G and Satcom. Proceedings of the European Signal Processing Conference (EUSIPCO), Nice, France, August 31–September 4, 2015, pp. 2746–2750.
20. Sung, K.W. and Yang, Y. 2015. Tradeoff between Spectrum and Densification for Achieving Target User Throughput. Proceedings of the IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, Scotland, May 11–14, 2015, pp. 1–6.
21. PTA 2016. Spectrum Trading Framework (draft).
22. Jiang, W. et al. 2014. White Paper Novel Spectrum Usage Paradigms for 5G. Special Interest Group Cognitive Radio in 5G, Cognitive Networks Technical Committee, IEEE Communications Society, IEEE.

BAGIAN II

BAB 4

STANDARISASI

Telekomunikasi seluler sangat diatur oleh Standar untuk mencapai skala ekonomi. Untuk komunikasi seluler, standar teknis adalah dokumen yang memberikan spesifikasi terutama tentang teknologi. Ini kemudian digunakan untuk mengembangkan produk (peralatan) yang memungkinkan teknologi tersebut. Standar diterbitkan dan dikelola oleh Organisasi Pengembangan Standar (SDO).

Ada sejumlah organisasi pengembangan standar dan forum industri yang terlibat dalam menentukan spesifikasi sistem telekomunikasi. Standar mendorong inovasi, mengurangi tantangan implementasi, dan mengatasi interoperabilitas antara sistem dan arsitektur.

Standardisasi adalah langkah kedua dalam pengembangan dan evolusi industri telekomunikasi seluler. Dalam istilah yang lebih sederhana, organisasi pengembangan standar seperti 3GPP (Proyek Kemitraan Generasi ke-3), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), dan sebagainya, mengambil visi ITU (Internasional Telecommunication Union) dan mengubahnya menjadi standar. SDO tersebut memiliki perwakilan dari vendor non-manufaktur, produsen peralatan asli, operator jaringan, lembaga penelitian, akademisi, dan SDO khusus negara; pada dasarnya, dari semua pemain di arena telekomunikasi. Selain SDO, sejumlah forum komersial juga ada yang mempromosikan area atau teknologi tertentu seperti W-iFi Alliance (nirkabel fidelitas), Small Cell Forum, dan sebagainya. Kegiatan standardisasi saat ini dijalankan oleh negara maju dan berkembang dan partisipasi dari negara berkembang dapat diabaikan. Belakangan ini, komunitas Penyedia Layanan (Operator) juga telah secara signifikan mengurangi perannya dan sekarang standardisasi terutama didorong oleh komunitas vendor/manufaktur.

Salah satu tujuan ekonomi utama dari produsen telekomunikasi dan vendor non-manufaktur adalah untuk melakukan penelitian (kontribusi) mereka di depan SDO, yang mencakup Hak Kekayaan Intelektual mereka. Jika kontribusi ini menjadi bagian dari standar, maka vendor dapat mengharapkan untuk mendapatkan royalti yang cukup besar untuk tahun-tahun mendatang. Operator di sisi lain memiliki portofolio paten yang relatif kecil, sehingga target mereka tidak sejalan. Target mereka, bagaimanapun, adalah agar tantangan teknis mereka saat ini dan persyaratan bisnis masa depan dapat dimasukkan ke dalam standar. Sejauh mungkin, industri secara keseluruhan bekerja untuk mengatasi tantangan dan persyaratan dalam standar: meminimalkan risiko pada investasi saat ini, mengurangi rintangan implementasi, dan mengurangi keterlambatan pengembalian investasi masa depan.

Standardisasi kemudian mengarah pada desain dan pengembangan rinci dari sirkuit terpadu, peralatan/produk, dan perangkat. Singkatnya, biasanya dibutuhkan dua hingga dua setengah tahun dari standardisasi teknologi hingga peluncuran komersial penuh pertamanya.

Bab ini akan membahas empat topik utama berikut tentang standar/standardisasi:

- a. Proses standardisasi beberapa SDO kunci
- b. Kegiatan standardisasi 5G
- c. Pedoman ITU-T untuk mendirikan SDO di negara berkembang
- d. Studi kasus—Kurangnya Riset dan Standardisasi di negara-negara anggota OIC (Organisasi Konferensi Islam).

4.1 Kunci SDO dan Proses Standarisasinya

Ada beberapa SDO yang terlibat dalam standarisasi telekomunikasi. Yang paling menonjol di tingkat Internasional adalah 3GPP (Proyek Kemitraan Generasi ke-3), IEEE-SA (Institute of Electrical and Electronics Engineers—Standards Association), dan ITU-T (ITU Telecommunication Standardization Sector).

4.2 3GPP

3GPP dibentuk pada tahun 1998 dengan tujuan untuk menghasilkan spesifikasi teknis dan laporan teknis untuk sistem seluler 3G, yaitu UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). UMTS didasarkan pada jaringan inti GSM (Global System for Mobile communication) dan menggunakan antarmuka udara Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) dalam mode dupleks pembagian frekuensi (FDD) dan dupleks pembagian waktu (TDD). Ruang lingkup kemudian diubah untuk mencakup pemeliharaan dan pengembangan spesifikasi teknis dan laporan teknis untuk GSM termasuk GPRS (General Packet Radio Service) dan EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). 3GPP juga mempertahankan spesifikasi LTE dan LTE-Advanced (4G) [1,2].

3GPP menyatukan tujuh SDO telekomunikasi khusus regional/negara, yaitu ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC⁸, yang dikenal sebagai Organizational Partners. Tujuan mereka adalah untuk menentukan kebijakan umum dan menghasilkan laporan dan spesifikasi yang mendefinisikan teknologi 3GPP.

Spatial Channel Model (SCM) adalah GSCM yang dikembangkan untuk sistem MIMO seluler oleh Third Generation Partnership Project (3GPP) pada tahun 2003 [169]. Pentingnya SCM terletak pada kemudahan untuk ekspansi dan parameterisasi dan menyediakan infrastruktur untuk model saluran berikutnya. Rentang frekuensi dan bandwidth sistem yang didukung masing-masing adalah 1~3 GHz dan 5 MHz. Model saluran SCM cocok untuk tiga skenario termasuk Suburban Macro (SMa), Urban Macro (UMa), dan Urban Micro (UMi). Model path loss (PL) menggunakan model urban COST 231 Hata yang dimodifikasi (SMa, UMa), model COST 231 Walfish-Ikegami NLOS (UMi NLOS) dan COST 231 model blok Walfish-Ikegami (UMi LOS) [173]. Dalam hal LSP, dibutuhkan DS, AS dan SF sebagai terdistribusi lognormal atau terdistribusi normal dan memberikan auto-korelasi dan koefisien korelasi silang, koefisien korelasi SF antar-stasiun dan seterusnya. Sehubungan dengan SSP, saluran terdiri dari enam kelompok, yang masing-masing berisi 20 sinar. Model memberikan karakteristik setiap cluster dengan sudut yang terdistribusi Gaussian, delay yang terdistribusi secara eksponensial, dan daya meluruh secara eksponensial dengan delay.

Berdasarkan parameter yang disajikan oleh WINNER II dan WINNER+, 3GPP mengusulkan dua model saluran baru, 3D-MIMO dan D2D. 3GPP 3D MIMO cocok untuk skenario UMi dan UMa, yang keduanya mencakup kasus Outdoor-to-Outdoor (O2O) dan Outdoor-to-Indoor (O2I). Rentang frekuensi, bandwidth, dan mobilitas maksimum yang berlaku masing-masing adalah 1~4 GHz, 10 MHz, dan 3 km/jam. Ini memberikan parameter path loss baru koefisien korelasi LSP intra-stasiun, dan parameter skala kecil (SS) yang diperbarui di mana sudut azimuth mengikuti distribusi Gaussian yang dibungkus, sudut zenith mengikuti distribusi Laplacian, dan

⁸ Asosiasi Industri dan Bisnis Radio (ARIB) Jepang, Aliansi untuk Solusi Industri Telekomunikasi (ATIS) AS, Asosiasi Standar Komunikasi China (CCSA), Institut Standar Telekomunikasi Eropa (ETSI), Masyarakat Pengembangan Standar Telekomunikasi, India (TSDSI), Asosiasi Teknologi Telekomunikasi (TTA) Korea, Komite Teknologi Telekomunikasi (TTC) Jepang.

parameter sudut zenith sebagian merujuk ke WINNER+ model saluran. Model 3GPP D2D [3] mendukung skenario UMi (baik O2O dan O2I) dan Indoor-to-Indoor. Kontribusi utama adalah dukungan untuk mobilitas ganda dan inti dari model ini adalah menghitung pergeseran Doppler. Dua skenario simulasi sistem didefinisikan: skenario umum (2 GHz, kecepatan mobilitas 3 km/jam) dan skenario keamanan publik (700 MHz, kecepatan maksimum 60 km/jam). Bandwidth ditetapkan sebagai 10 MHz untuk uplink dan downlink masing-masing dalam mode dupleks pembagian frekuensi, dan 20 MHz dalam mode dupleks pembagian waktu. Sebagian besar parameter dan proses pembuatan saluran mengacu pada model standar yang ada.

Model saluran 3GPP-HF (6-100 GHz) adalah model saluran pita frekuensi tinggi standar pertama yang dirilis ke publik. Selain skenario tipikal yang ditentukan dalam 5GCM [12], skenario tambahan termasuk backhaul, D2D/V2V, stadion dan gimnasium, juga dipertimbangkan. Model saluran 3GPPHF dikembangkan berdasarkan model saluran MIMO 3GPP-3D dan mengadopsi metode pemodelan berbasis pengukuran dan RT. Meskipun metode pemodelan yang diadopsi dan nilai parameternya sama dengan yang ada di 5GCM, 3GPP-HF memberikan implementasi yang lebih detail. Revisi ini mencakup korelasi multifrekuensi untuk mendukung agregasi pembawa (penundaan cluster dan sudut adalah sama untuk semua pita frekuensi, sementara parameter lainnya bergantung pada frekuensi atau independen frekuensi), pemodelan sinar yang lebih halus untuk daya, penundaan, dan sudut untuk mendukung bandwidth besar, dan penundaan melayang di atas larik untuk setiap sinar untuk mendukung MIMO masif (masih belum mendukung muka gelombang bola). Berdasarkan metode pemodelan yang mendukung konsistensi spasial yang diusulkan dalam 5GCM, 3GPP-HF memberikan jarak korelasi yang diperlukan oleh konsistensi spasial, dan menghasilkan RV kontinu domain spasial yang digunakan untuk mengekspresikan probabilitas LOS/NLOS, probabilitas dalam/luar ruangan, jenis bangunan dan SSP terkait. Evolusi waktu saluran dimodelkan berdasarkan lokasi cluster. Model saluran 3GPP-HF mengadopsi metode pemodelan penyumbatan yang diusulkan dalam 5GCM dan menyempurnakan ekspresi dalam koordinat kutub, yaitu, penyumbatan dibagi menjadi dua kategori. Selanjutnya, 3GPP-HF juga mengusulkan beberapa model saluran yang disederhanakan, yaitu, lima model CDL dan lima model TDL untuk simulasi level-link. Selain itu, model hybrid berbasis peta yang dikembangkan oleh ZTE Ltd. diadopsi dengan menggabungkan cluster deterministik yang diperoleh dengan penelusuran sinar dan cluster acak yang diperoleh dengan pemodelan stokastik. Model dapat digunakan jika kinerja sistem diinginkan untuk dievaluasi atau diprediksi dengan menggunakan peta digital untuk menyelidiki dampak struktur dan material lingkungan.

4.2.1 Time Division Duplex (TDD)

Dalam kasus operasi TDD, ada frekuensi pembawa tunggal dan transmisi uplink dan downlink dipisahkan dalam domain waktu pada basis sel. Transmisi uplink dan downlink tidak tumpang tindih dalam waktu, baik dari perspektif sel maupun perangkat. Oleh karena itu TDD dapat diklasifikasikan sebagai operasi half-duplex.

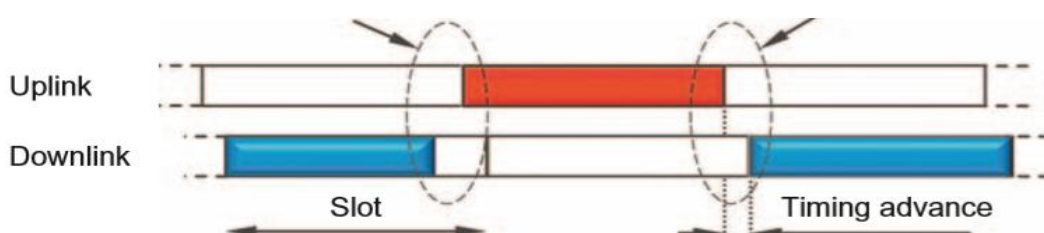
Di LTE, pemisahan antara sumber daya uplink dan downlink dalam domain waktu ditentukan secara semistatis dan pada dasarnya tetap konstan sepanjang waktu. NR, di sisi lain, menggunakan TDD dinamis sebagai dasar di mana (bagian dari) slot dapat dialokasikan secara dinamis ke uplink atau downlink sebagai bagian dari keputusan penjadwal. Hal ini memungkinkan mengikuti variasi lalu lintas yang cepat yang sangat menonjol dalam penyebaran padat dengan jumlah pengguna yang relatif kecil per stasiun pangkalan. TDD dinamis sangat berguna dalam penyebaran sel kecil dan/atau sel terisolasi di mana daya

transmisi perangkat dan stasiun pangkalan memiliki urutan yang sama dan interferensi antar lokasi wajar. Jika diperlukan, keputusan penjadwalan antara situs yang berbeda dapat dikoordinasikan. Jauh lebih mudah untuk membatasi dinamika dalam alokasi uplink downlink bila diperlukan dan dengan demikian memiliki operasi yang lebih statis daripada mencoba menambahkan dinamika ke skema statis fundamental, yang dilakukan saat memperkenalkan eIMTA untuk LTE di rilis 12.

Salah satu contoh ketika koordinasi antar lokasi berguna adalah penerapan makro tradisional. Dalam skenario seperti itu, alokasi downlink uplink statis (kurang lebih) adalah pilihan yang baik karena menghindari situasi interferensi yang merepotkan. Operasi TDD statis atau semistatik juga diperlukan untuk menangani koeksistensi dengan LTE, misalnya, ketika operator LTE dan operator NR menggunakan situs dan pita frekuensi yang sama. Pembatasan seperti itu dalam alokasi uplink downlink dapat dengan mudah dicapai sebagai bagian dari implementasi penjadwalan dengan menggunakan pola tetap di setiap base station.

Aspek penting dari setiap sistem TDD, atau sistem half-duplex secara umum, adalah kemungkinan untuk menyediakan periode penjagaan (atau waktu penjagaan) yang cukup besar, di mana transmisi downlink maupun uplink tidak terjadi. Guard period ini diperlukan untuk berpindah dari transmisi downlink ke uplink dan sebaliknya dan diperoleh dengan menggunakan format slot dimana downlink berakhir cukup awal sebelum dimulainya uplink. Lamanya periode penjagaan yang diperlukan tergantung pada beberapa faktor. Pertama, itu harus cukup besar untuk menyediakan waktu yang diperlukan untuk sirkuit di stasiun pangkalan dan perangkat untuk beralih dari downlink ke uplink. Perpindahan biasanya relatif cepat, dari urutan 20 ns atau kurang, dan di sebagian besar penerapan tidak secara signifikan berkontribusi pada waktu penjagaan yang diperlukan.

Kedua, guard time juga harus memastikan bahwa transmisi uplink dan downlink tidak mengganggu di base station. Ini ditangani dengan memajukan waktu uplink pada perangkat sedemikian rupa sehingga, di stasiun pangkalan, subframe uplink terakhir sebelum sakelar uplink-ke-downlink berakhir sebelum dimulainya subframe downlink pertama. Waktu uplink masing-masing perangkat dapat dikontrol oleh stasiun pangkalan dengan menggunakan mekanisme kemajuan waktu. Terakhir, pemilihan guard period juga perlu mempertimbangkan interferensi antar BTS. Dalam jaringan multisel, interferensi antar sel dari transmisi downlink di sel tetangga harus meluruh ke tingkat yang cukup rendah sebelum base station dapat mulai menerima transmisi uplink. Oleh karena itu, periode penjagaan yang lebih besar daripada yang didorong oleh ukuran sel itu sendiri mungkin diperlukan sebagai bagian terakhir dari transmisi downlink dari stasiun pangkalan yang jauh, jika tidak maka dapat mengganggu penerimaan uplink. Jumlah periode penjagaan bergantung pada lingkungan propagasi, tetapi dalam beberapa penerapan sel makro, interferensi antar stasiun pangkalan merupakan faktor yang tidak dapat diabaikan saat menentukan periode penjagaan. Tergantung pada periode penjagaan, beberapa gangguan sisa mungkin tetap ada di awal periode uplink. Oleh karena itu, adalah bermanfaat untuk menghindari penempatan sinyal yang peka terhadap interferensi pada awal ledakan uplink.



Gambar 4.1a Pembuatan guard time untuk operasi TDD, *Sebelah kiri - Guard period dipastikan dengan format slot yang sesuai (DL berakhir sebelum UL dimulai), Sebelah kanan - Guard dari timing advance yang sesuai*

4.2.2 Frequency-Division Duplex (FDD)

Selama setiap frame, ada satu set slot lengkap di uplink dan downlink, dan transmisi uplink dan downlink dapat terjadi secara bersamaan di dalam sel. Isolasi antara transmisi downlink dan uplink dicapai dengan filter transmisi/penerimaan, yang dikenal sebagai filter dupleks, dan pemisahan dupleks yang cukup besar dalam domain frekuensi.

Bahkan jika transmisi uplink dan downlink dapat terjadi secara bersamaan dalam sel dalam kasus operasi FDD, perangkat mungkin mampu operasi dupleks penuh atau hanya operasi setengah dupleks untuk pita frekuensi tertentu, tergantung pada apakah ia mampu atau tidak transmisi/penerimaan simultan. Dalam hal kemampuan dupleks penuh, transmisi dan penerimaan juga dapat terjadi secara bersamaan pada perangkat, sedangkan perangkat yang hanya mampu melakukan operasi setengah dupleks tidak dapat mengirim dan menerima secara bersamaan. Pengoperasian setengah dupleks memungkinkan implementasi perangkat yang disederhanakan karena filter dupleks santai atau tanpa filter. Ini dapat digunakan untuk mengurangi biaya perangkat, misalnya, untuk perangkat kelas bawah dalam aplikasi yang sensitif terhadap biaya. Contoh lain adalah pengoperasian pada pita frekuensi tertentu dengan celah dupleks yang sangat sempit dengan desain filter dupleks yang menantang. Dalam hal ini, dukungan dupleks penuh dapat bergantung pada pita frekuensi sehingga perangkat hanya dapat mendukung operasi setengah dupleks di pita frekuensi tertentu sementara mampu melakukan operasi dupleks penuh di pita yang didukung lainnya. Perlu dicatat bahwa kemampuan full/half-duplex adalah milik perangkat; stasiun pangkalan dapat beroperasi dalam dupleks penuh terlepas dari kemampuan perangkat. Misalnya, stasiun pangkalan dapat mengirim ke satu perangkat sekaligus menerima dari perangkat lain secara bersamaan.

Dari perspektif jaringan, operasi half-duplex berdampak pada kecepatan data berkelanjutan yang dapat diberikan ke/dari satu perangkat karena tidak dapat mentransmisikan di semua subframe uplink. Kapasitas sel hampir tidak terpengaruh karena biasanya dimungkinkan untuk menjadwalkan perangkat yang berbeda di uplink dan downlink dalam subframe tertentu. Tidak ada penyediaan untuk periode penjagaan yang diperlukan dari perspektif jaringan karena jaringan masih beroperasi dalam dupleks penuh dan oleh karena itu mampu melakukan transmisi dan penerimaan secara simultan. Struktur transmisi dan hubungan waktu yang relevan adalah identik antara FDD full-duplex dan half-duplex dan oleh karena itu satu sel dapat secara bersamaan mendukung campuran perangkat FDD full-duplex dan half-duplex. Karena perangkat half-duplex tidak mampu melakukan transmisi dan penerimaan secara simultan, keputusan penjadwalan harus mempertimbangkan hal ini dan operasi half-duplex dapat dilihat sebagai pembatasan penjadwalan.

4.2.3 Proses Standardisasi

Spesifikasi 3GPP disusun sebagai rilis dan pekerjaan standardisasi didorong oleh kontribusi. Spesifikasi diterbitkan hingga empat kali setahun setelah rapat pleno triwulanan. Perusahaan (“anggota individu”) berpartisipasi melalui keanggotaan mereka dalam Mitra Organisasi 3GPP. Setiap rilis terdiri dari beberapa laporan teknis dan spesifikasi, yang masing-masing mungkin telah melalui banyak revisi. Seringkali, rilis menyediakan teknologi akses radio baru dan/atau

kemajuan dari yang sudah ada. Rilis pertama, yang disebut Rilis 99, diselesaikan pada tahun 2001, dan menetapkan teknologi radio 3G berbasis Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) pertama yang menggabungkan antarmuka udara CDMA. Pengembangan rilis adalah proses yang sedang berlangsung dan saat ini, Rilis 15 dan 16 sedang dalam proses yang berfokus pada 5G.

a) Pengembangan Rilis

Setiap rilis terdiri dari tiga tahap, mengacu pada pencapaian tonggak tertentu. Istilah tahap berasal dari metode ITU-T untuk mengkategorikan spesifikasi. Ketiga tahapan tersebut adalah^[1]:

- Tahap 1 mengacu pada deskripsi layanan dari sudut pandang pengguna layanan.
- Tahap 2 adalah analisis logis, merancang arsitektur abstrak elemen fungsional dan arus informasi di antara mereka melintasi titik referensi antara entitas fungsional.
- Tahap 3 adalah implementasi konkret dari protokol yang muncul pada antarmuka fisik antara elemen fisik di mana elemen fungsional telah dipetakan.

Kerangka waktu ditentukan untuk setiap rilis dan untuk setiap tahap dengan menentukan tanggal pembekuan. Produksi 3GPP Rilis-12, termasuk tahapan dan jadwal sebagai sampel, ditunjukkan pada Gambar 4.1. Setelah rilis dibekukan, hanya koreksi penting yang diizinkan (yaitu, penambahan dan modifikasi fungsi dilarang). Perlu dicatat bahwa spesifikasi protokol rinci (tahap 3) mungkin belum lengkap pada saat pembekuan. Selain itu, rilis hanya menjadi resmi ketika dialihkan ke publikasi yang sesuai dari Organisasi Mitra (atau badan standar nasional/regional yang bertindak sebagai penerbit untuk Mitra).

b) Struktur Pengerjaan

Pekerjaan spesifikasi 3GPP dilakukan dalam empat Kelompok Spesifikasi Teknis (TSG):

- TSG GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) bertanggung jawab atas bagian akses radio GSM/EDGE/GERAN dan terdiri dari tiga kelompok kerja.
- TSG RAN (Radio Access Network) bertanggung jawab atas definisi fungsi, persyaratan, dan antarmuka jaringan UTRA/E-UTRA (Evolved UMTS) dalam mode FDD dan TDD. Ini juga bertanggung jawab untuk mengembangkan spesifikasi LTE, LTE-Advanced (4G), dan 5G. Ini terdiri dari lima kelompok kerja.
- TSG CT (Jaringan inti dan Terminal) bertanggung jawab untuk menentukan antarmuka terminal (logis dan fisik), kemampuan terminal (seperti lingkungan eksekusi), dan bagian jaringan inti dari sistem 3GPP. Ini terdiri dari lima kelompok kerja.
- TSG SA (Aspek Layanan dan sistem) bertanggung jawab atas keseluruhan arsitektur dan kemampuan layanan sistem berdasarkan spesifikasi 3GPP. Ia juga bertanggung jawab atas koordinasi lintas TSG dan terdiri dari enam kelompok kerja.

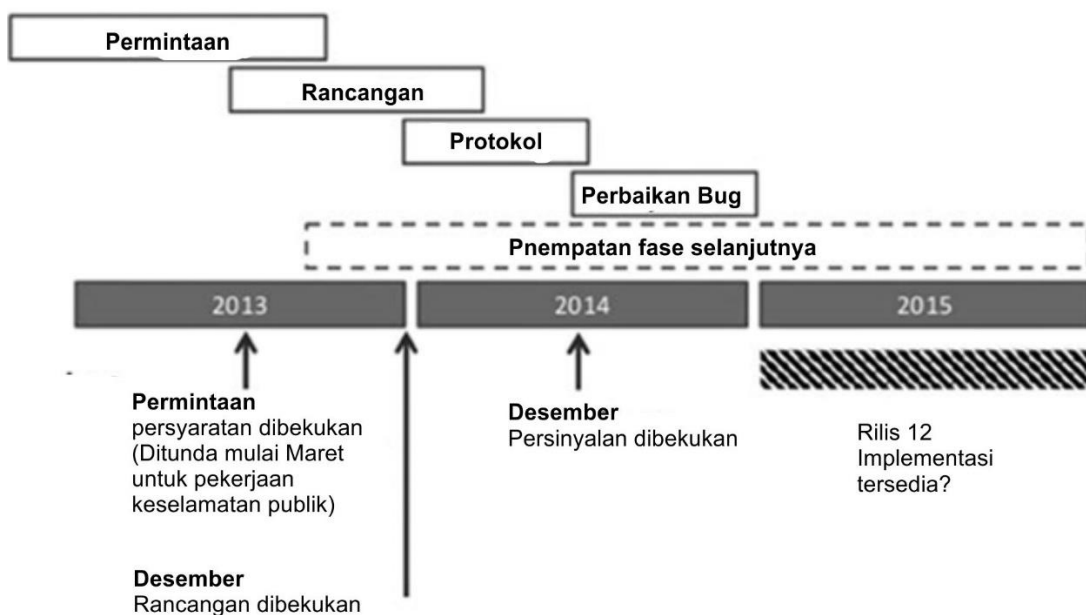
Struktur 3GPP juga mencakup Kelompok Koordinasi Proyek yang merupakan badan pembuat keputusan tertinggi. Ini bertemu secara formal setiap enam bulan untuk melaksanakannya penerimaan akhir item pekerjaan TSG 3GPP dan untuk menyetujui hasil pemilihan dan sumber daya yang berkomitmen untuk 3GPP.

4.2.4 Standarisasi Komunikasi Seluler 3GPP

Menyetujui spesifikasi dan standar teknologi multi-nasional telah menjadi kunci keberhasilan komunikasi seluler. Hal ini memungkinkan penyebaran dan interoperabilitas perangkat dan

infrastruktur dari vendor yang berbeda serta perangkat yang diaktifkan dan langganan untuk beroperasi secara global.

Seperti yang telah disebutkan, teknologi NMT generasi pertama telah dibuat secara multinasional, memungkinkan perangkat dan langganan untuk beroperasi melintasi perbatasan nasional antara negara-negara Nordik. Langkah selanjutnya dalam spesifikasi/standarisasi multinasional teknologi komunikasi seluler terjadi ketika GSM dikembangkan bersama antara sejumlah besar negara Eropa dalam CEPT, yang kemudian berganti nama menjadi ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Sebagai konsekuensinya, perangkat GSM dan langganannya sejak awal sudah dapat beroperasi di banyak negara, mencakup sejumlah besar calon pengguna. Pasar bersama yang besar ini memiliki dampak besar pada ketersediaan perangkat, yang mengarah ke jumlah jenis perangkat yang berbeda yang belum pernah terjadi sebelumnya dan pengurangan substansial dalam biaya perangkat.



Gambar 4.1 Produksi Rilis-12 (sampel). (Dari Rilis 3GPP. Tersedia di [http://www.3gpp.org/specifications/releases^{\[2\]}.](http://www.3gpp.org/specifications/releases^[2].))

Namun, langkah terakhir menuju standarisasi global komunikasi seluler yang sesungguhnya datang dengan spesifikasi teknologi 3G, khususnya WCDMA. Pengerjaan teknologi 3G pada awalnya juga dilakukan secara regional, yaitu secara terpisah di Eropa (ETSI), Amerika Utara (TIA, T1P1), Jepang (ARIB), dll. Namun, keberhasilan GSM telah menunjukkan pentingnya jejak teknologi yang besar, terutama dalam hal ketersediaan dan biaya perangkat. Juga menjadi jelas bahwa meskipun pekerjaan dilakukan secara terpisah dalam organisasi standar regional yang berbeda, ada banyak kesamaan dalam teknologi yang mendasarinya. Hal ini terutama berlaku untuk Eropa dan Jepang yang keduanya mengembangkan rasa yang berbeda tetapi sangat mirip dari teknologi wideband CDMA (WCDMA).

Akibatnya, pada tahun 1998, organisasi standarisasi regional yang berbeda berkumpul dan bersama-sama menciptakan Proyek Kemitraan Generasi Ketiga (3GPP) dengan tugas menyelesaikan pengembangan teknologi 3G berbasis WCDMA. Sebuah organisasi paralel (3GPP2) agak kemudian dibuat dengan tugas mengembangkan teknologi 3G alternatif, cdma2000, sebagai evolusi generasi kedua IS-95. Selama beberapa tahun, dua organisasi (3GPP dan 3GPP2) dengan teknologi 3G masing-masing (WCDMA dan cdma2000) ada secara

paralel. Namun, seiring waktu, 3GPP mendominasi sepenuhnya dan, terlepas dari namanya, terus berkembang menjadi teknologi 4G (LTE, dan 5G). Saat ini, 3GPP adalah satu-satunya organisasi signifikan yang mengembangkan spesifikasi teknis untuk komunikasi seluler.

4.2.5 Generasi Berikutnya-5G/NR

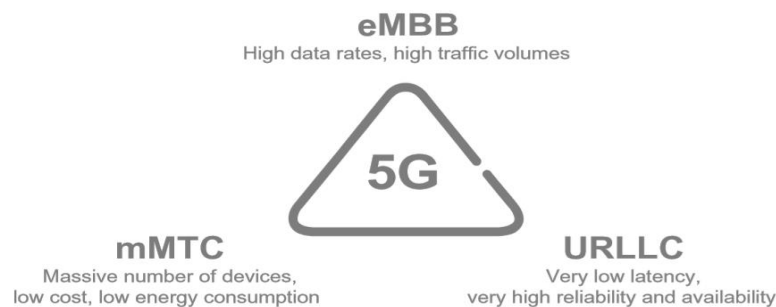
Diskusi tentang komunikasi seluler generasi kelima (5G) dimulai sekitar tahun 2012. Dalam banyak diskusi, istilah 5G digunakan untuk merujuk pada teknologi akses radio 5G baru yang spesifik. Namun, 5G juga sering digunakan dalam konteks yang lebih luas, tidak hanya mengacu pada teknologi akses radio tertentu, tetapi lebih ke berbagai layanan baru yang diharapkan dapat diaktifkan oleh komunikasi seluler di masa depan.

4.2.6 Kasus Penggunaan 5G

Dalam konteks 5G, seseorang sering berbicara tentang tiga kelas kasus penggunaan yang berbeda: broadband seluler yang ditingkatkan (eMBB), komunikasi tipe mesin masif (mMTC), dan komunikasi ultra-reliable dan latensi rendah (URLLC) (lihat juga Gambar 4.2a).

- eMBB sesuai dengan evolusi yang kurang lebih langsung dari layanan mobilebroadband saat ini, memungkinkan volume data yang lebih besar dan pengalaman pengguna yang lebih ditingkatkan, misalnya, dengan mendukung kecepatan data pengguna akhir yang lebih tinggi.
- mMTC sesuai dengan layanan yang dicirikan oleh sejumlah besar perangkat, misalnya, sensor jarak jauh, aktuator, dan pemantauan berbagai peralatan. Persyaratan utama untuk layanan tersebut mencakup biaya perangkat yang sangat rendah dan konsumsi energi perangkat yang sangat rendah, memungkinkan masa pakai baterai perangkat yang sangat lama hingga setidaknya beberapa tahun. Biasanya, setiap perangkat mengkonsumsi dan menghasilkan hanya sejumlah kecil data, yaitu, dukungan untuk kecepatan data yang tinggi kurang penting.
- Jenis layanan URLLC diharapkan membutuhkan latensi yang sangat rendah dan keandalan yang sangat tinggi. Contohnya adalah keselamatan lalu lintas, kontrol otomatis, dan otomatisasi pabrik.

Penting untuk dipahami bahwa klasifikasi kasus penggunaan 5G ke dalam tiga kelas yang berbeda ini agak dibuat-buat, terutama bertujuan untuk menyederhanakan definisi persyaratan untuk spesifikasi teknologi. Akan ada banyak kasus penggunaan yang tidak cocok dengan salah satu kelas ini. Sebagai contoh, mungkin ada layanan yang membutuhkan keandalan yang sangat tinggi tetapi persyaratan latensinya tidak terlalu penting. Demikian pula, mungkin ada kasus penggunaan yang membutuhkan perangkat dengan biaya yang sangat rendah tetapi kemungkinan masa pakai baterai perangkat yang sangat lama mungkin kurang penting.



Gambar 4.2a Klasifikasi kasus penggunaan 5G level tinggi

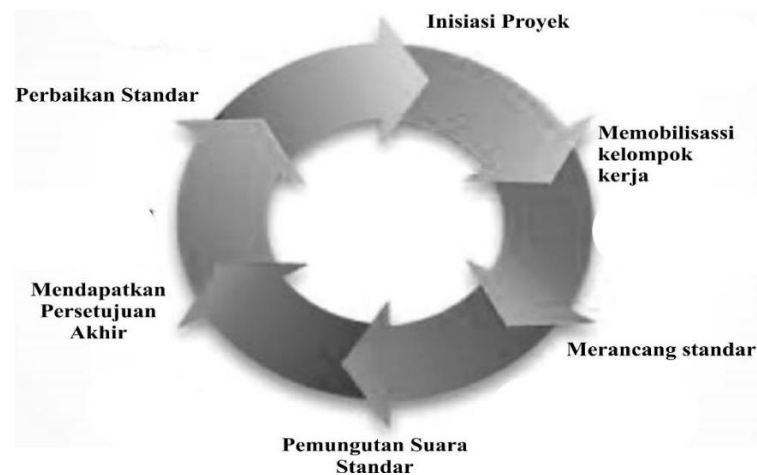
4.3 IEEE-SA

IEEE-SA, seperti namanya, adalah cabang standarisasi IEEE. Proses pengembangan standar IEEE-SA terbuka untuk anggota IEEE-SA dan juga non-anggota. Namun, hanya anggota yang dapat terlibat dalam proses standarisasi tingkat yang lebih dalam dengan kesempatan pemungutan suara dan partisipasi tambahan. Standar utama IEEE yang relevan dengan telekomunikasi seluler termasuk, namun tidak terbatas pada, WiFi (seri 802.11) dan Interoperabilitas Seluruh Dunia untuk Akses Microwave (WiMAX) (seri IEEE 802.16).

4.3.1 Siklus Pengembangan Standar

Standar IEEE-SA memiliki masa pakai sepuluh tahun, atau dalam kasus standar penggunaan percobaan, dua tahun, setelah itu dapat dipertimbangkan untuk status penuh atau revisi. Pengembangan standar adalah tugas yang membosankan dan panjang dan membutuhkan keahlian untuk membuatnya sukses. Siklus hidup pengembangan standar IEEE terdiri dari enam tahap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan ini dibahas secara singkat di bagian ini^[3].

Memulai Proyek: Sebuah proyek akan dimulai ketika sebuah ide atau konsep memiliki manfaat yang masuk akal untuk dipertimbangkan untuk standarisasi. Ide ini bisa luas, seperti meningkatkan kecepatan data atau sangat spesifik, seperti pengembangan teknologi transmisi baru. Sebuah ide membutuhkan sponsor (organisasi) yang memikul tanggung jawab dan pengawasan teknis untuk itu. Dalam istilah resmi, proyek standar tidak ada sampai PAR (Project Approval Request) disetujui. PAR adalah dokumen kecil, terstruktur, legal, dan sangat terperinci yang pada dasarnya menyatakan alasan mengapa proyek itu ada dan apa yang ingin dilakukannya. Pengajuan PAR adalah langkah pertama dalam proyek pengembangan standar.



Gambar 4.2 Siklus hidup pengembangan standar IEEE-SA. (Dari IEEE-SA. Tersedia di <http://standards.ieee.org/> ^[3].)

Memobilisasi Kelompok Kerja: Setelah persetujuan PAR, Kelompok Kerja (WG) dibentuk yang secara resmi dapat memulai pekerjaannya untuk mengembangkan standar. Kelompok kerja adalah kelompok terbuka di mana siapa pun dengan keahlian teknis yang sesuai dapat beroperasi sesuai dengan aturan IEEE-SA dan prosedur kelompok kerja. Sejalan dengan itu, siapa pun dapat berpartisipasi dalam proyek yang diprakarsai oleh individu; namun, untuk partisipasi dalam proyek standar perusahaan, keanggotaan perusahaan IEEE-SA diperlukan.

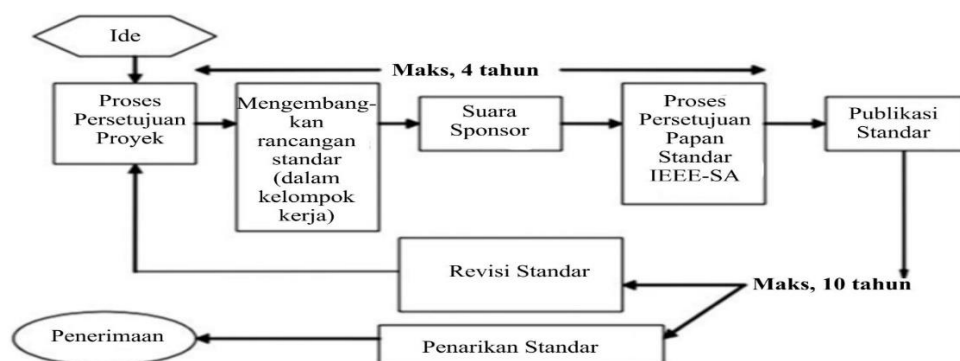
Menyusun Standar: Tonggak pertama dari setiap kelompok kerja adalah penyelesaian draft lengkap pertama. Editor IEEE-SA dapat membantu dalam penyuntingan, tetapi tanggung

jawab keseluruhan penyusunan standar terletak pada WG. Draf biasanya mengalami beberapa kali revisi sebelum diubah menjadi standar yang stabil.

Pemungutan Suara Standar: Langkah keempat dalam proses ini adalah tentang mendapatkan suara yang cukup untuk membuatnya (standar) disetujui. Proses pemungutan suara dapat dimulai ketika sponsor menganggap bahwa rancangan standar penuh sudah stabil. Untuk mensponsori pemungutan suara berdasarkan standar, sponsor memperoleh keanggotaan IEEE-SA atau membayar biaya per surat suara. Sponsor membentuk kelompok pemungutan suara yang terdiri dari individu dan perusahaan yang tertarik dengan standar. Meskipun siapa pun dapat berpartisipasi dengan mengomentari rancangan tersebut, hanya anggota kelompok suara yang memenuhi syarat yang dapat memilih. Pemungutan suara biasanya berlangsung 30–60 hari, di mana pemilih dapat menyetujui, tidak menyetujui, atau abstain dengan atau tanpa komentar. Standar akan lulus jika setidaknya 75% dari semua surat suara dari kelompok pemungutan suara dikembalikan dan jika 75% dari surat suara ini memilih ya. Jika 30% dari pemilih tidak memberikan suara atau abstain, surat suara akan gagal. Setiap individu atau korporasi memiliki satu suara dan dapat mengajukan banding atas tindakan dan keputusan yang dibuat selama proses tersebut setiap saat. Proses peninjauan publik selama 60 hari juga dimulai bersamaan dengan pemungutan suara konsensus untuk penerimaan dan akuntabilitas yang lebih luas. Komentar ulasan publik tidak memiliki suara yang terkait dengannya, tetapi WG memberikan tanggapan untuk semua komentar tersebut.

Mendapatkan Persetujuan Akhir: Dewan Standar IEEE-SA menyetujui atau tidak menyetujui standar berdasarkan rekomendasi dari Komite Peninjau Standar. Komite ini bertanggung jawab untuk memastikan bahwa kelompok kerja telah mengikuti semua prosedur dan prinsip panduan dalam menyusun dan memilih standar. Setelah disetujui, standar diedit oleh editor IEEE-SA, ditinjau oleh anggota kelompok kerja, dan kemudian diterbitkan.

Mempertahankan Standar: Standar mungkin memerlukan koreksi teknis atau editorial setelah publikasi. Persyaratan ini dapat diatasi dengan menerbitkan corrigenda atau lembar ralat. Corrigenda mengoreksi kesalahan teknis serta kesalahan semantik, memerlukan PAR, dan harus melalui pemungutan suara konsensus. Lembaran ralat adalah halaman terpisah yang diterbitkan untuk memperbaiki kesalahan ketik atau editorial; namun, tidak seperti corrigenda, ini tidak memerlukan PAR atau pemungutan suara konsensus. Selama masa hidup standar 10 tahun, kelompok kerja dapat mengembangkan dan memilih revisi, perpanjangan atau koreksi standar, yang dilampirkan sebagai amandemen dan corrigenda. Setelah sepuluh tahun, standar direvisi atau ditarik. Singkatnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, pengembangan (termasuk persetujuan) standar dapat memakan waktu maksimal empat tahun. Setelah standar diterbitkan, aktif selama 10 tahun, setelah itu perlu direvisi atau ditarik.



Gambar 4.3 Proses standarisasi IEEE-SA. (Dari IEEE-SA. Tersedia di <http://standards.ieee.org> [3].)

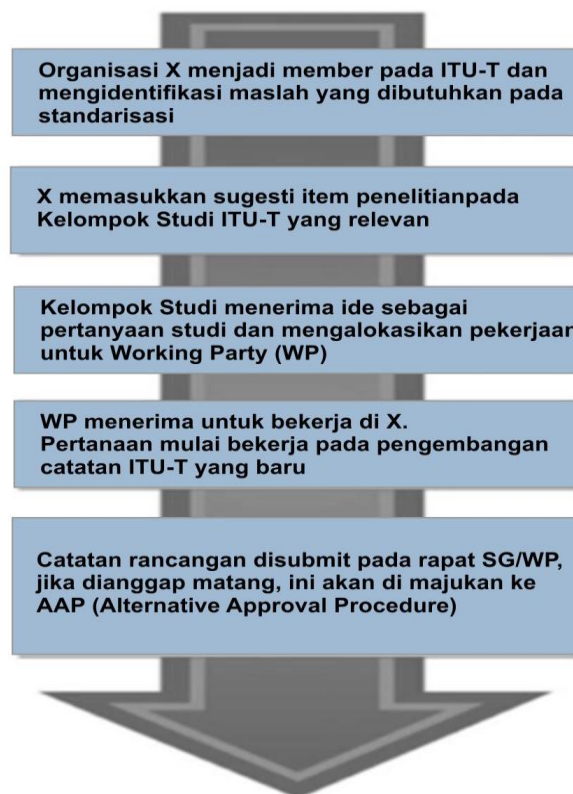
4.4 ITU-T

ITU-T adalah salah satu dari tiga sektor (divisi atau unit) ITU. Fungsi utama ITU-T adalah mengembangkan standar Internasional yang dikenal dengan ITU-T Recommendations for Information and Communication Technologies (ICTs).

Pekerjaan standarisasi dilakukan oleh Technical Study Groups (SGs). Setiap SG terdiri dari perwakilan (ahli) dari organisasi anggota ITU-T untuk mengembangkan rekomendasi (standar) untuk berbagai bidang ITC. Saat ini, ada sebelas SG yang mempelajari inovasi teknologi, tantangan operasional, dan isu kebijakan. Dari perspektif statistik, ada lebih dari 4000 rekomendasi yang berlaku yang mencakup sejumlah besar topik ITC. Rekomendasi adalah pedoman yang diadopsi secara sukarela yang dapat digunakan dalam kontrak rantai pasokan dan dalam pengembangan teknologi dan produk. Akhirnya, dapat dicatat bahwa ITU-T telah mendefinisikan proses terpisah untuk pengembangan standar dan persetujuan standar yang dijelaskan secara singkat dalam bagian ini^[4].

4.4.1 Proses Pengembangan Standar

Alur kerja pengembangan standar ITU-T seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 menggambarkan lima langkah proses. Proses dimulai ketika organisasi anggota mengidentifikasi masalah ITC yang membutuhkan standarisasi ke Pemda terkait. Jika SG menyetujui gagasan tersebut sebagai pertanyaan studi, maka SG kemudian menyerahkannya kepada pihak kerja (WP). WP mulai bekerja pada pengembangan rekomendasi ITU-T baru berdasarkan pertanyaan studi. SG mengatur pekerjaannya dalam bentuk pertanyaan studi yang mendorong studi teknis di bidang ITC tertentu. Sebuah pertanyaan adalah unit proyek dasar dalam ITU-T.

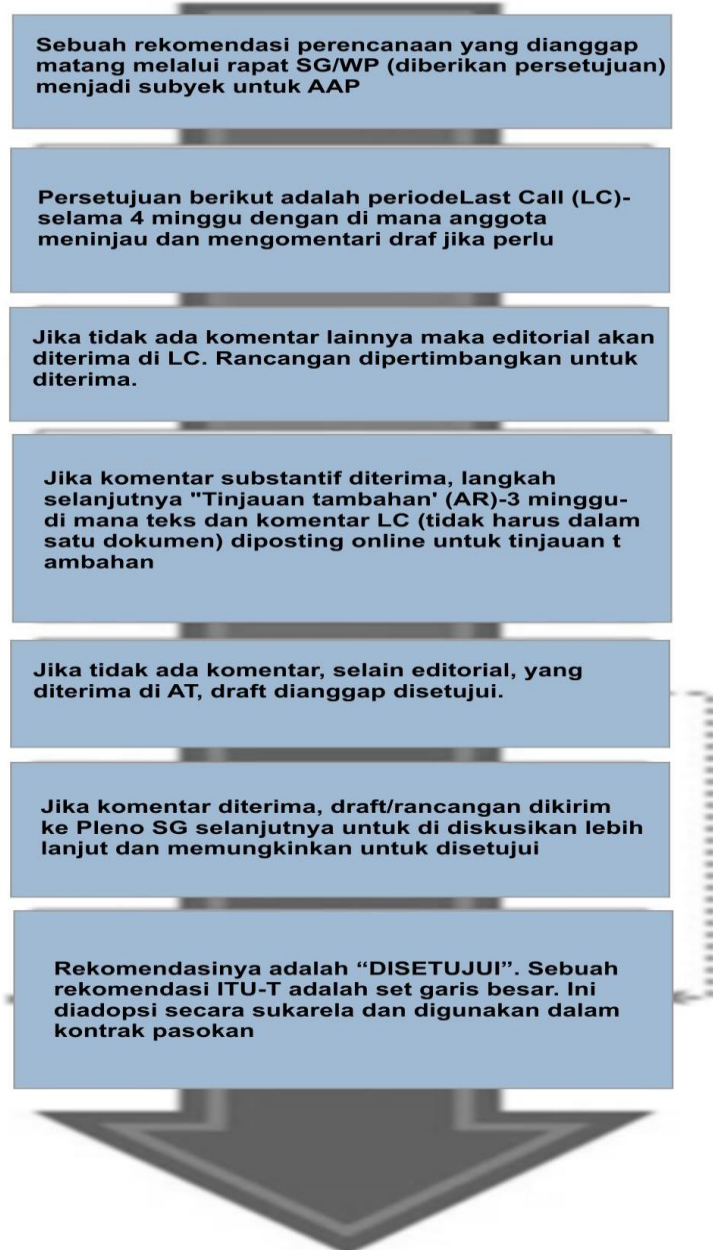


Gambar 4.4 Alur kerja pengembangan standar. (Dari pengembangan Standar ITU-T. Tersedia di <http://www.itu.int/en/ITU-T/about/Pages/development.aspx>^[5].)

Sebuah pertanyaan studi dapat diterbitkan hanya jika sejumlah anggota berkomitmen untuk mendukung pekerjaan yang diperlukan. Masukan anggota ke dalam SG disebut kontribusi. Masukan ini biasanya digunakan untuk menyarankan area kerja baru dan menyusun rekomendasi atau perubahan rekomendasi yang ada. Setelah rancangan rekomendasi dari WP siap, diajukan ke pertemuan SG dan jika dianggap matang, diberikan persetujuan untuk maju ke Prosedur Persetujuan Alternatif (AAP).

4.4.2 Proses Persetujuan Standar

AAP dikembangkan untuk mempersingkat waktu persetujuan standar untuk memenuhi tuntutan industri saat ini. Prosedur ini diterapkan pada tahun 2001 dan telah memangkas proses panjang persetujuan standar hingga 80%-90%. Sekarang rata-rata satu standar dapat disetujui secara elektronik dalam dua bulan, biasanya memakan waktu sekitar empat tahun ketika sebagian besar proses persetujuan dilakukan melalui pertemuan fisik.



Gambar 4.5 Alur kerja persetujuan standar. (Dari persetujuan Standar ITU-T. Tersedia di <http://www.itu.int/en/ITU-T/about/Pages/approval.aspx>^{[6].})

AAP adalah proses tujuh langkah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 mengatasi laju komersialisasi yang cepat saat ini. Pada langkah pertama, setelah mendapatkan persetujuan dari SG/WP, draft rekomendasi menjadi subjek untuk AAP. Dengan kata lain, teks sudah cukup matang untuk memulai proses review akhir yang mengarah pada persetujuan draft rekomendasi. Pasca persetujuan mengarah ke langkah kedua yang menandakan periode yang disebut Panggilan Terakhir dan berlangsung selama empat minggu. Selama fase ini, Direktur Sekretariat ITU-T, Biro Standardisasi Telekomunikasi (TSB), mengumumkan dimulainya prosedur AAP dengan memposting draf teks ke situs web ITU-T dan meminta komentar. Ini memberikan kesempatan bagi semua anggota (Negara Anggota dan Anggota Sektor) untuk meninjau teks dan memberikan umpan balik jika diinginkan. Jika tidak ada komentar selain editorial yang diterima (langkah 3), maka rekomendasi tersebut dianggap disetujui. Namun, jika ada komentar yang substansial, ketua SG, berkonsultasi dengan TSB, menyiapkan proses Tinjauan Tambahan (AR) yang berlangsung selama tiga minggu (langkah 4). Selama AR, teks dan komentar panggilan terakhir diposting online untuk ditinjau/umpan balik. Mirip dengan panggilan terakhir, jika tidak ada komentar selain editorial yang diterima di AR, maka draft dianggap disetujui (langkah 5). Jika komentar diterima lagi, ini berarti ada kekurangan dalam draf yang perlu diperbaiki. Draf teks beserta komentarnya kemudian dikirim ke rapat pleno SG berikutnya untuk diskusi lebih lanjut dan kemungkinan persetujuan (langkah 6). Selama langkah terakhir 7, draft disetujui dan menjadi Rekomendasi ITU-T.

4.5 ITU-R

ITU-R^[7] mengembangkan peraturan dan standar radio (Rekomendasi) untuk memastikan kinerja dan kualitas yang diperlukan dalam mengoperasikan sistem komunikasi radio. Ia bertanggung jawab atas pengelolaan global spektrum frekuensi radio dan sumber daya orbit satelit.

Tujuan utamanya adalah untuk memastikan penggunaan sistem komunikasi radio yang bebas interferensi, efisien, dan ekonomis. Hal ini dipastikan melalui penerapan Peraturan Radio dan Perjanjian Regional, dan pembaruan instrumen ini secara efisien dan tepat waktu melalui proses WRC.

Pada tahun 1999, ITU menyetujui lima antarmuka radio untuk IMT-2000 atau 3G sebagai bagian dari Rekomendasi ITU-R M.1457, sementara itu menambahkan teknologi IEEE WiMAX pada tahun 2007. Persyaratan IMT Advanced (4G) dikeluarkan oleh ITU-R pada tahun 2008 dan pada tahun 2010, LTE-Advanced dan WiMAX-Advanced secara resmi dinyatakan sebagai standar 4G. Dengan cara yang sama, ITU-R mengeluarkan persyaratan kinerja teknis untuk antarmuka radio 5G pada tahun 2017 dan diharapkan untuk menyetujui hal yang sama pada tahun 2019/2020.

4.6 IETF

Internet Engineering Task Force (IETF)^[8] mengembangkan dan mempromosikan standar untuk kelancaran operasi dan evolusi Internet. Ini bekerja sama erat dengan badan standar lainnya dan melakukan tugas-tugasnya di WG. Ini adalah organisasi standar terbuka, tanpa keanggotaan formal atau persyaratan keanggotaan.

Mirip dengan proses pengembangan dan persetujuan standar lainnya, spesifikasi mengalami periode pengembangan dan iterasi. Pekerjaan ini dilakukan di WG dan oleh komunitas Internet pada umumnya. IESG (Internet Engineering Steering Group), setelah berakhirnya

periode panggilan terakhir, akan membuat keputusan akhir apakah akan menyetujui tindakan standar dan memberi tahu IETF dengan tepat^[9].

Jika tindakan standar disetujui, pemberitahuan dikirim ke Editor RFC (Request for Comments) dan disalin ke IETF dengan instruksi untuk mempublikasikan spesifikasi sebagai RFC oleh IESG. IETF menghasilkan RFC yang menjelaskan penelitian dan metode yang dapat diterapkan pada kerja Internet dan sistem yang terhubung ke Internet. RFC diajukan untuk mengkomunikasikan konsep dan informasi baru. IETF mengadopsi beberapa RFC yang diterbitkan sebagai standar Internet. RFC IETF terutama digunakan dalam pengangkutan suara, video, dan layanan data melalui Internet.

4.7 SDO Regional Utama

SDO regional dan negara tertentu juga memainkan peran penting dalam standarisasi ITC di wilayah atau negara mereka. Beberapa yang menonjol adalah CCSA China, ETSI Eropa, ARIB Jepang, TTA Korea Selatan, dan Asosiasi Industri Telekomunikasi AS (TIA).

- ETSI menghasilkan standar ITC yang berlaku secara global, termasuk teknologi tetap, seluler, radio, konvergensi, siaran, dan Internet. Secara resmi diakui oleh Uni Eropa sebagai Organisasi Standar Eropa.
- TIA yang berbasis di AS adalah asosiasi perdagangan terkemuka yang mewakili industri ITC global melalui pengembangan standar, inisiatif kebijakan, peluang bisnis, intelijen pasar, dan acara jejaring.
- CCSA adalah organisasi standar profesional Cina dengan tanggung jawab untuk mengembangkan standar teknologi komunikasi.

4.8 Forum Industri Utama dan Perannya

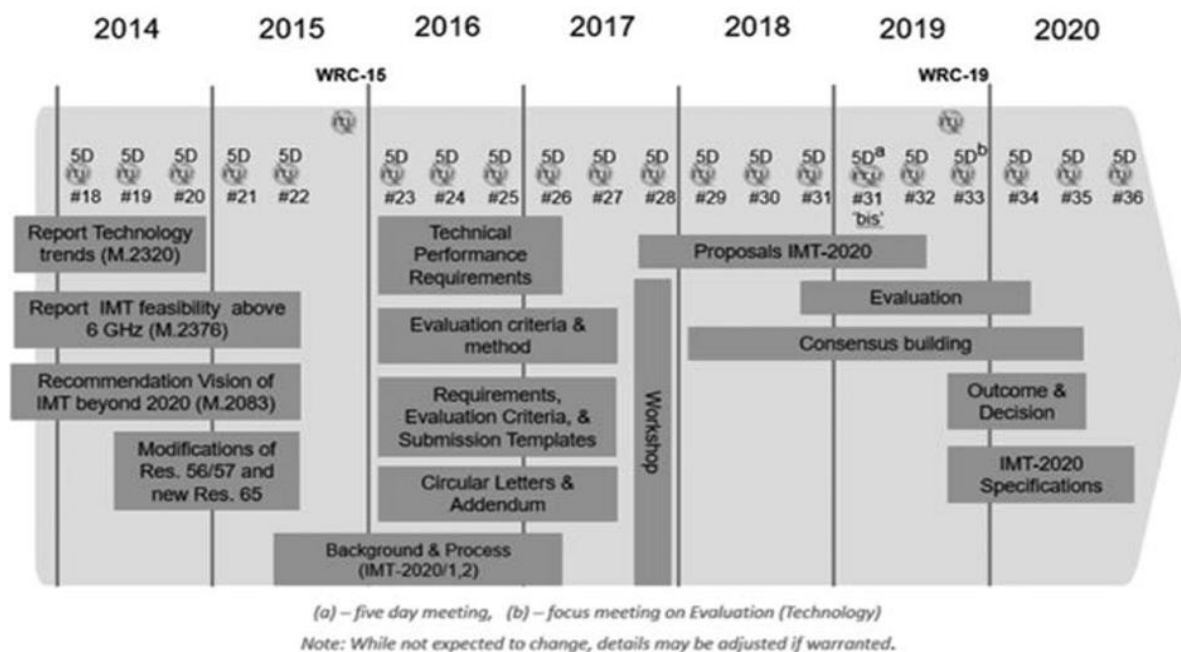
Forum industri biasanya merupakan inisiatif yang didorong secara komersial untuk mempercepat promosi, pengembangan, dan penerimaan teknologi tertentu. Forum ini terdiri dari sejumlah organisasi termasuk penyedia layanan telekomunikasi, produsen peralatan jaringan, produsen perangkat, vendor semikonduktor, dan organisasi pengujian. Ada ratusan forum di bidang telekomunikasi dan mereka memiliki peran mereka sendiri dalam skema yang luas. Beberapa contohnya adalah sebagai berikut:

- CDG (CDMA Development Group) yang berbasis di AS mempromosikan sistem CDMA/EV-DO (Evolution Data Only/Evolution Data Optimized).
- Misi Metro Ethernet Forum yang berbasis di AS adalah untuk mempercepat adopsi jaringan dan layanan Ethernet kelas operator di seluruh dunia.
- Small Cell Forum yang berbasis di Inggris mendukung, mempromosikan, dan membantu mendorong adopsi skala luas dari teknologi small cell untuk meningkatkan jangkauan, kapasitas, dan layanan yang diberikan oleh jaringan seluler.
- Open Mobile Alliance (OMA) memberikan spesifikasi terbuka untuk mendukung terminal tetap dan seluler baru dan yang sudah ada di berbagai jaringan seluler.

4.9 Standarisasi 5G

Kegiatan standarisasi untuk 5G saat ini sedang berlangsung dan diharapkan akan selesai pada 2019/2020. Pada awal 2012, ITU-R memprakarsai program “IMT for 2020 and Beyond” yang kemungkinan telah menjadi panggung bagi kegiatan penelitian dan inovasi 5G di seluruh dunia.

WP 5D ITU menyepakati peta jalan selama pertemuan ke-20 yang diadakan pada akhir 2014^[10]. Peta jalan ini mencakup rencana kerja, jadwal, proses, dan hasil yang diperlukan untuk pengembangan “IMT-2020” atau standar antarmuka radio 5G. Berdasarkan garis waktu ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, proposal standar antarmuka udara 5G diharapkan mulai mencapai ITU-R pada akhir 2017 dan berlanjut hingga pertengahan 2019. Kemudian pada bulan September 2015, ITU-R menyelesaikan visinya tentang masyarakat yang terhubung dengan broadband seluler 5G. Sejumlah SDO dan berbagai forum industri sedang mengerjakan berbagai aspek standardisasi (termasuk antarmuka udara) 5G untuk memenuhi target ITU-R ini. Pada saat yang sama, ITU-R melalui pihak kerja 5D telah mendukung identifikasi spektrum tambahan untuk 5G di WRC-2015. Visi ITU-R juga berperan dalam menetapkan agenda WRC-19 (selama WRC-15) di mana pembahasan tentang spektrum tambahan akan dilakukan untuk mendukung pertumbuhan IMT di masa depan^[11]



Gambar 4.6 Jadwal dan proses terperinci untuk “IMT-2020” di ITU-R. (Dari ITU-R. Rencana kerja, garis waktu, proses dan hasil untuk pengembangan IMT di masa depan.

<http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/Antipated-Time-Schedule.pdf>^[10].)

3GPP diharapkan dapat menyelesaikan tugas pengembangan spesifikasi antarmuka radio untuk diserahkan ke ITU-R dalam tiga rilis (Rel-14, Rel-15, dan Rel-16). Rilis-14 terutama menangani persyaratan awal dan dibekukan pada Juni 2017. Lebih tepatnya, spesifikasi antarmuka radio (standar) akan diselesaikan dalam dua fase seperti yang dinyatakan oleh grup RAN 3GPP^[12]. Rilis-15, yang merupakan Fase 1, fitur dasar dari teknologi akses radio baru, akan diformalkan dan diperkirakan akan berhenti pada H2-2018. Fase 2 (Rilis-16) akan membahas semua kasus penggunaan dan persyaratan yang teridentifikasi dan diharapkan selesai pada Desember 2020 sejalan dengan penyerahan ke ITU-R [13–15]. IEEE sedang mengerjakan generasi baru standar jaringan area lokal nirkabel, yaitu IEEE 802.11ax yang dikenal sebagai WiFi Efisiensi Tinggi untuk berkembang sebagai teknologi radio utama dalam jaringan 5G. IETF juga sedang mengerjakan beberapa blok bangunan termasuk Internet of Things, Cloud Virtualization, dan web RTC (komunikasi waktu nyata di browser web, keamanan, dan lainnya) untuk jaringan 5G masa depan.

Selain SDO, forum industri seperti NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance, GSMA (GSM Association), Small Cell Forum, dan lainnya membantu SDO ini dalam pekerjaan standarisasi masing-masing di 5G. Selain itu, ada beberapa proyek akademik industri skala besar yang didukung pemerintah seperti 5GPPP, METIS-2020, Forum 5G⁹, dan lainnya yang juga bekerja di jalur yang sama. Ada sejumlah organisasi yang terlibat dalam pembuatan spesifikasi dan standar teknis serta regulasi di bidang komunikasi seluler. Ini secara longgar dapat dibagi menjadi tiga kelompok: Organisasi Pengembangan Standar, badan pengatur dan administrasi, dan forum industri.

Organisasi Pengembangan Standar (SDO) mengembangkan dan menyepakati standar teknis untuk sistem komunikasi seluler, untuk memungkinkan industri memproduksi dan menyebarkan produk standar dan menyediakan interoperabilitas antara produk tersebut. Sebagian besar komponen sistem komunikasi seluler, termasuk stasiun pangkalan dan perangkat seluler, distandarisasi sampai batas tertentu. Ada juga tingkat kebebasan tertentu untuk memberikan solusi kepemilikan dalam produk, tetapi protokol komunikasi bergantung pada standar terperinci untuk alasan yang jelas. SDO biasanya merupakan organisasi industri nirlaba dan tidak dikendalikan oleh pemerintah. Mereka sering menulis standar dalam area tertentu di bawah mandat pemerintah, namun memberikan standar status yang lebih tinggi.

Ada SDO nasional, tetapi karena penyebaran global produk komunikasi, sebagian besar SDO bersifat regional dan juga bekerja sama di tingkat global. Sebagai contoh spesifikasi teknis GSM, WCDMA/HSPA, LTE, dan NR semuanya dibuat oleh 3GPP (Third Generation Partnership Project) yang merupakan organisasi global dari tujuh SDO regional dan nasional di Eropa (ETSI), Jepang (ARIB dan TTC), Amerika Serikat (ATIS), China (CCSA), Korea (TTA), dan India (TSDSI). SDO cenderung memiliki tingkat transparansi yang berbeda-beda, tetapi 3GPP sepenuhnya transparan dengan semua spesifikasi teknis, dokumen rapat, laporan, dan reflektor email yang tersedia untuk umum tanpa biaya bahkan untuk non-anggota.

Badan pengatur dan administrasi adalah organisasi yang dipimpin pemerintah yang menetapkan persyaratan peraturan dan hukum untuk menjual, menyebarkan, dan mengoperasikan sistem seluler dan produk telekomunikasi lainnya. Salah satu tugas terpenting mereka adalah mengontrol penggunaan spektrum dan menetapkan persyaratan lisensi bagi operator seluler yang diberikan lisensi untuk menggunakan bagian spektrum Frekuensi Radio (RF) untuk operasi seluler. Tugas lainnya adalah mengatur “penempatan di pasar” produk melalui sertifikasi peraturan, dengan memastikan bahwa perangkat, stasiun pangkalan, dan peralatan lainnya telah disetujui jenisnya dan terbukti memenuhi peraturan.

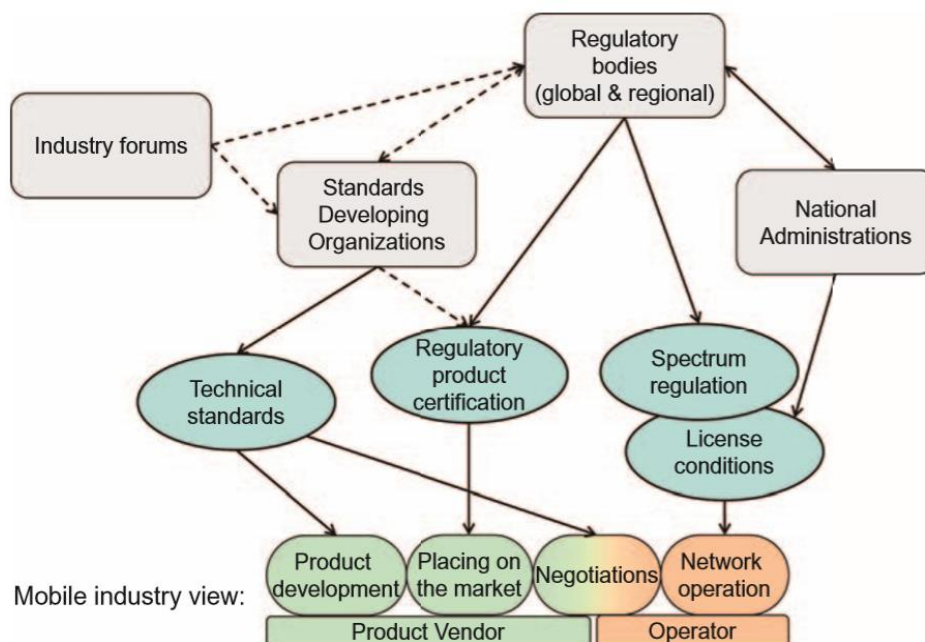
Regulasi spektrum ditangani baik di tingkat nasional oleh administrasi nasional, tetapi juga melalui badan-badan regional di Eropa (CEPT/ECC), Amerika (CITEL), dan Asia (APT). Di tingkat global, regulasi spektrum ditangani oleh Internasional Telecommunications Union (ITU). Badan pengatur mengatur layanan spektrum yang akan digunakan dan sebagai tambahan menetapkan persyaratan yang lebih rinci seperti batasan emisi yang tidak diinginkan dari pemancar. Mereka juga secara tidak langsung terlibat dalam penetapan persyaratan standar produk melalui regulasi.

Forum industri adalah kelompok yang dipimpin industri yang mempromosikan dan melobi untuk teknologi tertentu atau kepentingan lainnya. Di industri seluler, ini sering dipimpin oleh

⁹ Kemitraan Publik-Swasta Infrastruktur 5G yang didanai/didanai Uni Eropa (5GPPP), Pengaktif komunikasi seluler dan nirkabel untuk Dua Puluh Dua Puluh (METIS-2020), dan Forum 5G Korea Selatan.

operator, tetapi ada juga vendor yang membuat forum industri. Contoh dari grup tersebut adalah GSMA (GSM Association) yang mempromosikan teknologi komunikasi seluler berbasis GSM, WCDMA, LTE, dan RN. Contoh lain dari forum industri adalah Next Generation Mobile Networks (NGMN), yang merupakan grup operator yang menentukan persyaratan evolusi sistem seluler, dan 5G Americas, yang merupakan forum industri regional yang telah berevolusi dari pendahulunya 4G Amerika.

Gambar 4.6a menggambarkan hubungan antara berbagai organisasi yang terlibat dalam pengaturan kondisi regulasi dan teknis untuk sistem seluler. Gambar tersebut juga menunjukkan pandangan industri seluler, di mana vendor mengembangkan produk, menempatkannya di pasar, dan bernegosiasi dengan operator yang mengadakan dan menerapkan sistem seluler. Proses ini sangat bergantung pada standar teknis yang diterbitkan oleh SDO, sementara menempatkan produk di pasar bergantung pada sertifikasi produk di tingkat regional atau nasional. Perhatikan bahwa, di Eropa, SDO regional (ETSI) memproduksi apa yang disebut standar harmonisasi yang digunakan untuk sertifikasi produk (melalui tanda "CE"), berdasarkan mandat dari regulator, dalam hal ini Komisi Eropa. Standar ini juga digunakan untuk sertifikasi di banyak negara di luar Eropa. Pada Gambar 2.1, panah penuh menunjukkan dokumentasi formal seperti standar teknis, rekomendasi, dan mandat peraturan yang mendefinisikan teknologi dan regulasi. Panah putus-putus menunjukkan keterlibatan tidak langsung melalui, misalnya, pernyataan penghubung dan kertas putih.



Gambar 4.6a Pandangan yang disederhanakan tentang hubungan antara badan pengatur, organisasi pengembang standar, forum industri, dan industri seluler.

4.9.1 ITU IMT-Advanced, IMT-2020

Berdasarkan pengukuran lapangan oleh organisasi anggota dan model saluran WINNER II, International Telecommunications Union (ITU) mengusulkan model saluran IMT Advanced (IMT-A) (alias model saluran ITU-R M.2135 untuk nama dokumennya)^[14]. Model saluran ini mendukung lima skenario, termasuk hotspot dalam ruangan (InH), UMa tipikal, UMi (termasuk O2I), SMA dan RMa. Model mengadopsi ide, metode, dan langkah pembuatan saluran stokastik dari model WINNER II, namun hanya model 2D dan nilai parameternya telah banyak berubah (lihat Tabel A1-2, A1-3 dan A1-7 di^[14]). Rentang pita frekuensi 2~6 GHz

didukung untuk semua skenario, kecuali frekuensi hingga 450 MHz didukung untuk RMa. Selain itu, model Time-Spatial Propagation (TSP) diperpanjang lainnya disarankan. Model TSP adalah model saluran dua arah berbasis geometri dan ditargetkan untuk bandwidth RF hingga 100 MHz. Path loss, PDP, AOD dimodelkan oleh beberapa fungsi bentuk tertutup dalam hal parameter kunci berikut seperti struktur kota (lebar jalan, tinggi rata-rata bangunan), tinggi BS, bandwidth dan jarak antara BS dan UT. Model tersebut kurang mendukung konsistensi spasial dari parameter skala besar dan kecil.

Saat ini ITU sedang menggalakkan standarisasi IMT-2020 (5G). Untuk memastikan proses standar teknis 5G dan rasionalitas dan keadilan penilaian teknis tindak lanjut, kelompok rancangan (DG) untuk model saluran IMT-2020 dibentuk pada pertemuan ke-25 Sektor Komunikasi Radio (ITU-R) ITU.) Partai Kerja 5D (WP5D). Para peserta Ditjen sepakat untuk mengambil model saluran terkait 3GPP sebagai model referensi dalam Laporan Evolusi IMT-2020. Model referensi mendukung pita frekuensi 0,5~100 GHz dan terdiri dari Modul Primer, Modul Ekstensi opsional, dan Modul Saluran Hibrida berbasis Peta opsional. Modul Utama mewarisi dari model 3GPP dan digunakan untuk evaluasi Teknik Antarmuka Radio (RIT) untuk lingkungan pengujian berikut, termasuk eMBB(InH, UMi, RMa), URLLC (UMa) dan mMTC (UMa). Model Utama yang diusulkan berisi Model A yang direkomendasikan oleh China dan Model B yang direkomendasikan oleh Intel, Nokia, NTT DOCOMO, Sumsang, Ericsson dan Telstra. Yang pertama mewarisi model IMT-A dan model 3GPP-3D dan melengkapi parameter elevasi untuk InH dan RMa di sub-6 GHz, sementara itu mewarisi model 3GPP-HF di atas 6 GHz. Yang terakhir menggunakan parameterisasi terpadu untuk pita frekuensi penuh alih-alih ekspresi terpisah untuk pita yang berbeda. Model saluran hibrida berbasis peta opsional yang diusulkan oleh ZTE dan juga diadopsi oleh 3GPP menggunakan metodologi pemodelan statistik berbasis deterministik dan pengukuran berbasis ray-tracing untuk lebih mencerminkan fitur propagasi elektromagnetik dalam hal SC dan DC dalam propagasi aktual lingkungan. Model saluran hibrida ini memberikan konsistensi frekuensi antara domain frekuensi tinggi dan rendah, konsistensi spasial, dan mobilitas ganda. Modul Ekstensi opsional mewarisi dari model TSP IMT-A dan menggunakan metode penghitungan sudut elevasi di Modul Utama yang menjadikannya model 3D. Model ini hanya berlaku untuk pita frekuensi 0,4~6 GHz dan bandwidth 0,5~100 MHz.

4.10 Pedoman ITU-T untuk Mendirikan SDO di Negara Berkembang

ITU-T pada tahun 2014 menerbitkan pedoman pertama untuk pembentukan Sekretariat Standardisasi Nasional (NSS) di negara-negara berkembang untuk mengkoordinasikan kegiatan standardisasi di tingkat nasional, dan berpartisipasi dalam dan berkontribusi pada pekerjaan standardisasi ITU. NSS merupakan salah satu action item dari inisiatif "Bridging the Standardization Gap (BSG)" ITU, yang merupakan upaya untuk mengurangi perbedaan antara negara berkembang dan negara maju^[16].

Kesenjangan standardisasi didefinisikan sebagai disparitas antara negara berkembang dan negara maju dalam kemampuan mengakses, mengimplementasikan, berkontribusi, dan mempengaruhi standar ITC Internasional, khususnya Rekomendasi ITU. Resolusi 44 (Menjembatani Kesenjangan Standardisasi antara Negara Berkembang dan Negara Maju) dari Majelis Standardisasi Telekomunikasi Dunia ITU-T mengakui bahwa disparitas dalam standardisasi antara negara berkembang dan negara maju termasuk disparitas dalam sumber daya manusia yang terampil dalam standardisasi dan dalam partisipasi efektif dalam kegiatan ITU-T .

4.11 Sekretariat Standarisasi Nasional

ITU-T mengusulkan bahwa ketika negara berkembang melihat bahwa ada peningkatan kesadaran dan penggunaan di lingkungan nasional teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dan standar Internasional yang terkait, ada kebutuhan yang sesuai untuk menerapkan proses tingkat nasional untuk mengatasi standar yang ada dan yang muncul.

Salah satu cara untuk mengatasi fungsi tersebut adalah dengan membuat NSS. NSS dapat dibentuk di bawah lembaga pemerintah yang ada atau organisasi pemerintah lainnya yang ditunjuk oleh negara anggota untuk mewakilinya di ITU-T. Beberapa fungsi kunci adalah sebagai berikut:

- Manajemen struktur organisasi NSS (misalnya, pendanaan, otoritas hukum, pembentukan komite penasihat nasional, penunjukan ketua komite, proses banding),
- Penyebaran informasi dari ITU-T kepada pemangku kepentingan nasional yang sesuai,
- Pengembangan strategi dan kebijakan nasional untuk Standardisasi ICT,
- Koordinasi peningkatan kapasitas kegiatan standardisasi Internasional, termasuk forum standardisasi yang bertujuan menjembatani kesenjangan standardisasi, dan • Fungsi administrasi serta kegiatan koordinasi dengan ITU-T.

4.12 Evolusi NSS

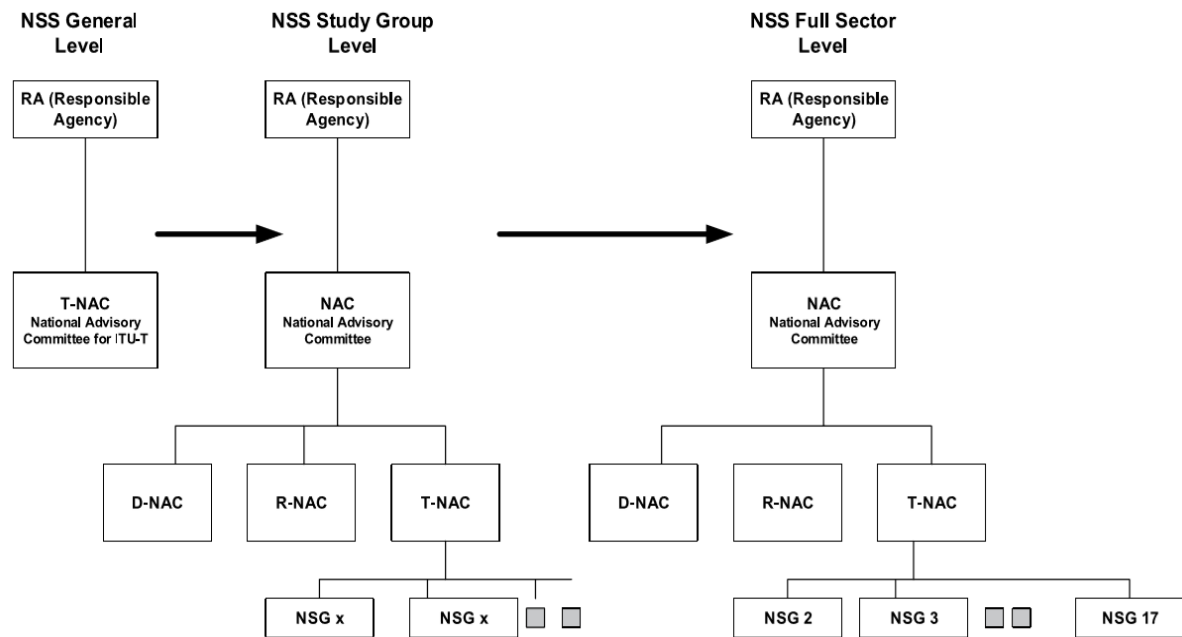
Pedoman ini memperhitungkan tingkat kemampuan yang berbeda untuk standardisasi di negara-negara berkembang. Mereka menunjukkan bagaimana mungkin untuk membangun NSS di tiga tingkat yang berbeda atau bagaimana tumbuh dari Tingkat Umum NSS ke Tingkat Kelompok Studi NSS, dan akhirnya ke Tingkat Sektor Penuh NSS. Ketiga tingkatan tersebut adalah sebagai berikut:

- Tingkat Umum: ini untuk negara berkembang yang memiliki kepentingan umum dalam kegiatan ITU-T, tetapi keterlibatan mereka dengan salah satu kelompok studi ITU-T minimal.
- Tingkat Kelompok Studi: ini untuk negara berkembang yang berpartisipasi dalam beberapa kegiatan ITU-T dan juga dalam satu atau lebih kelompok belajar ITU-T.
- Tingkat Sektor Penuh: ini untuk negara berkembang yang sangat terlibat dengan kegiatan ITU-T dan juga berpartisipasi aktif dalam banyak atau sebagian besar kelompok studi ITU-T.

Gambar 4.7 menunjukkan transisi dari Tingkat Umum ke Tingkat Sektor Penuh. Dua entitas utama adalah RA (Badan Penanggung Jawab) dan NAC (Komite Penasehat Nasional). RA dalam evolusi ini akan bertanggung jawab untuk pertemuan ITU tingkat yang lebih tinggi seperti Konferensi Berkuasa Penuh ITU, masalah kebijakan, dan fungsi administrasi dan pendanaan sekretariat. NAC, di sisi lain, adalah dari semua opsi NSS.

Dalam Tingkat Umum, KPA untuk ITU-T atau T-NAC (Komite Penasihat Nasional untuk ITU-T) adalah komite penasihat tingkat kerja utama. T-NAC dibuat dan tim kepemimpinannya ditunjuk oleh RA, sedangkan partisipasi dalam T-NAC terbuka untuk semua organisasi publik dan swasta yang tertarik. T-NAC suatu negara akan mempertimbangkan semua hal yang menjadi kepentingan negara tersebut dalam ITU-T. Itu juga dapat membuat kelompok ad hoc yang lebih kecil berdasarkan kebutuhan untuk menangani masalah ITU-T yang mendesak dan spesifik. Selanjutnya bertanggung jawab untuk mengambil / mempertahankan masukan/

pandangan negara dalam ITU-T WTSA (Majelis Standarisasi Telekomunikasi Dunia), kelompok penasihat ITU-T (TSAG), dan kelompok studi ITU-T.



Gambar 4.7 Evolusi NSS. (Dari Fishman, G. 2014. Pedoman Pembentukan Sekretariat Standardisasi Nasional untuk ITU-T—Menjembatani Kesenjangan Standardisasi, ITU-T^[16].)

Pada tahap kedua, yaitu Tingkat Kelompok Studi, RA akan membuat NAC yang akan menjadi organisasi menyeluruh yang terdiri dari T-NAC, R-NAC, dan D-NAC (National Advisory Committee for ITU-D). T-NAC dari tahap sebelumnya akan dilanjutkan, namun akan melapor ke NAC dan R-NAC (National Advisory Committee for ITU-R) akan mengerjakan item-item yang terkait dengan ITUR, sedangkan D-NAC sepanjang baris yang sama akan bekerja pada tugas-tugas yang terkait dengan ITU-D (ITU-Development Sector). Selama level 1, kelompok ad hoc internal T-NAC yang dibentuk untuk menangani isu-isu tertentu akan menjadi Kelompok Studi Nasional (NSG) permanen, berpartisipasi dalam beberapa kelompok studi ITU-T dan melapor ke T-NAC.

Negara-negara yang berada di Tingkat Kelompok Studi dapat pindah ke Tingkat Sektor Penuh ketika partisipasi negara meluas ke hampir semua kelompok studi ITU-T. Pada tingkat ini, T-NAC melalui berbagai NSG-nya akan menjadi bagian dari hampir semua kelompok studi ITU-T, menangani masalah kebijakan, jaringan, teknologi, layanan, aplikasi, dan lainnya.

4.13 Sorotan Laporan Tambahan

Pedoman tersebut juga menyoroti pentingnya pendanaan yang stabil yang merupakan keharusan bagi NSS. Di beberapa negara, pemerintah mungkin bertanggung jawab penuh atas pendanaan sementara di negara lain, baik sektor publik maupun swasta dapat berkontribusi. Laporan tersebut juga menyarankan perkiraan sumber daya manusia untuk ketiga opsi tersebut. Akhirnya, pedoman tersebut menyediakan proses enam langkah untuk menetapkan NSS untuk ITU-T. Proses ini akan membantu dalam memutuskan tingkat yang sesuai untuk NSS dan mengimplementasikan keputusan tersebut.

4.13.1 Peran ITU-R pada Aktivitas dari 3G hingga 5G

ITU-R adalah sektor komunikasi radio dari Internasional Telecommunications Union. ITU-R bertanggung jawab untuk memastikan penggunaan spektrum RF secara efisien dan ekonomis oleh semua layanan komunikasi radio. Subkelompok dan kelompok kerja yang berbeda menghasilkan laporan dan rekomendasi yang menganalisis dan menentukan kondisi penggunaan spektrum RF. Tujuan ITU-R yang cukup ambisius adalah untuk “memastikan operasi sistem komunikasi radio yang bebas gangguan,” dengan menerapkan Peraturan Radio dan perjanjian regional. Radio Regulations adalah perjanjian Internasional yang mengikat tentang bagaimana spektrum RF digunakan. Konferensi Komunikasi Radio Dunia (WRC) diadakan setiap 3 4 tahun sekali. Di WRC, Peraturan Radio direvisi dan diperbarui, menghasilkan penggunaan spektrum RF yang direvisi dan diperbarui di seluruh dunia.

Sementara spesifikasi teknis teknologi komunikasi seluler, seperti NR, LTE, dan WCDMA/HSPA dilakukan dalam 3GPP, ada tanggung jawab ITU-R dalam proses mengubah teknologi menjadi standar global, khususnya untuk negara-negara yang tidak tercakup oleh SDO yang menjadi mitra dalam 3GPP. ITU-R mendefinisikan spektrum untuk layanan yang berbeda dalam spektrum RF, termasuk layanan bergerak, dan beberapa dari spektrum tersebut secara khusus diidentifikasi untuk apa yang disebut sistem Telekomunikasi Seluler Internasional (IMT). Di dalam ITU-R, Working Party 5D (WP5D) bertanggung jawab atas keseluruhan aspek sistem radio dari sistem IMT, yang, dalam praktiknya, sesuai dengan berbagai generasi sistem komunikasi seluler mulai dari 3G dan seterusnya. WP5D memiliki tanggung jawab utama dalam ITU-R untuk masalah yang terkait dengan komponen terestrial IMT, termasuk masalah teknis, operasional, dan terkait spektrum.

WP5D tidak membuat spesifikasi teknis aktual untuk IMT, tetapi telah mempertahankan peran mendefinisikan IMT bekerja sama dengan badan standardisasi regional dan memelihara serangkaian rekomendasi dan laporan untuk IMT, termasuk seperangkat Spesifikasi Antarmuka Radio (RSPC). Rekomendasi ini berisi "keluarga" Radio Interface Technologies (RITs) untuk setiap generasi IMT, semuanya termasuk dalam basis yang setara. Untuk setiap antarmuka radio, RSPC berisi gambaran umum dari antarmuka radio tersebut, diikuti dengan daftar referensi untuk spesifikasi rinci. Spesifikasi aktual dikelola oleh SDO individu dan RSPC memberikan referensi ke spesifikasi yang dialihkan dan dipelihara oleh setiap SDO. Rekomendasi RSPC berikut ada atau direncanakan:

- Untuk IMT-2000: Rekomendasi ITU-R M.1457 berisi enam RIT yang berbeda termasuk teknologi 3G seperti WCDMA/HSPA.
- Untuk IMT-Advanced: ITU-R Recommendation M.2012 berisi dua RIT yang berbeda dimana yang terpenting adalah 4G/LTE.
- Untuk IMT-2020: Rekomendasi ITU-R baru, berisi RIT untuk teknologi 5G, direncanakan untuk dikembangkan pada 2019-20.

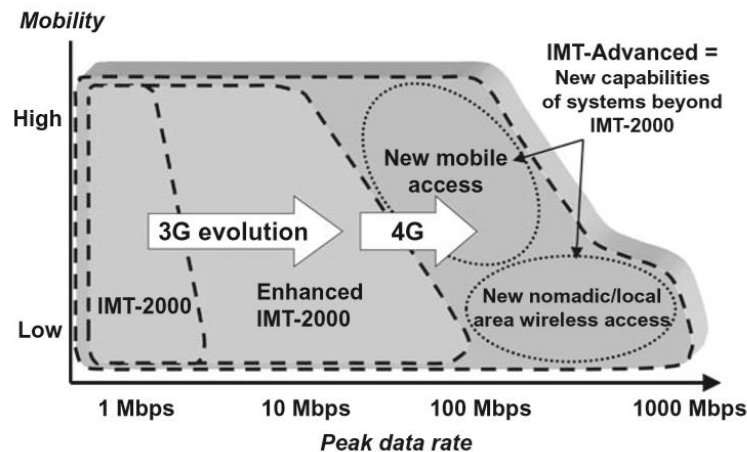
Setiap RSPC terus diperbarui untuk mencerminkan perkembangan baru dalam spesifikasi detail yang dirujuk, seperti spesifikasi 3GPP untuk WCDMA dan LTE. Masukan untuk pembaruan diberikan oleh SDO dan Proyek Kemitraan, saat ini terutama 3GPP.

4.13.2 IMT-2000 dan IMT-Lanjutan

Bekerja pada apa yang sesuai dengan komunikasi seluler generasi ketiga dimulai di ITU-R pada 1980-an. Pertama disebut sebagai Future Public Land Mobile Systems (FPLMTS), kemudian berganti nama menjadi IMT-2000. Pada akhir 1990-an, pekerjaan di ITU-R bertepatan dengan pekerjaan di berbagai SDO di seluruh dunia untuk mengembangkan sistem seluler generasi

baru. RSPC untuk IMT-2000 pertama kali diterbitkan pada tahun 2000 dan memasukkan WCDMA dari 3GPP sebagai salah satu RIT.

Langkah selanjutnya untuk ITU-R adalah memulai pekerjaan pada IMT-Advanced, istilah yang digunakan untuk sistem yang mencakup antarmuka radio baru yang mendukung kemampuan baru sistem di luar IMT-2000. Kemampuan baru didefinisikan dalam rekomendasi kerangka kerja yang diterbitkan oleh ITU-R dan ditunjukkan dengan "diagram van" yang ditunjukkan pada Gambar 4.7a. Langkah ke kemampuan IMT-Advanced oleh ITU-R bertepatan dengan langkah ke 4G, generasi berikutnya dari teknologi seluler setelah 3G.



Gambar 4.7a Ilustrasi kemampuan IMT-2000 dan IMT-Advanced, berdasarkan kerangka yang dijelaskan dalam Rekomendasi ITU-R M.1645

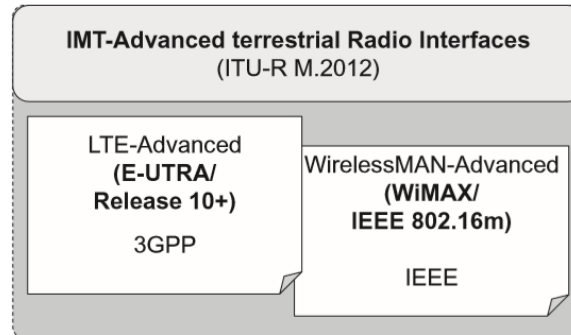
Sebuah evolusi LTE yang dikembangkan oleh 3GPP diajukan sebagai salah satu kandidat teknologi untuk IMT-Advanced. Meskipun sebenarnya merupakan rilis baru (Rilis 10) dari spesifikasi LTE dan dengan demikian merupakan bagian integral dari evolusi berkelanjutan LTE, kandidat diberi nama LTE-Advanced untuk tujuan penyerahan ITU-R dan nama ini juga digunakan dalam LTE spesifikasi dari Rilis 10. Sejalan dengan pekerjaan ITU-R, 3GPP menyiapkan seperangkat persyaratan teknisnya sendiri untuk LTE-Advanced, dengan persyaratan ITU-R sebagai dasar ^[10].

Target dari proses ITU-R adalah selalu harmonisasi calon melalui pembangunan konsensus. ITU-R menetapkan bahwa dua teknologi akan dimasukkan dalam rilis pertama IMT-Advanced, keduanya adalah LTE-Advanced dan WirelessMAN-Advanced berdasarkan spesifikasi IEEE 802.16m. Keduanya dapat dilihat sebagai "keluarga" teknologi IMT-Advanced seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Perhatikan bahwa, dari dua teknologi ini, LTE telah muncul sebagai teknologi 4G yang mendominasi sejauh ini.

4.13.3 Proses IMT-2000 di ITU-RWP50

Mulai tahun 2012, ITU-R WP5D menyiapkan panggung untuk sistem IMT generasi berikutnya, yang diberi nama IMT-2020. Ini adalah pengembangan lebih lanjut dari komponen terestrial IMT setelah tahun 2020 dan, dalam praktiknya, sesuai dengan apa yang lebih sering disebut sebagai "5G," sistem seluler generasi kelima. Kerangka dan tujuan untuk IMT-2020 diuraikan dalam Rekomendasi ITU-R M.2083, sering disebut sebagai rekomendasi "Visi". Rekomendasi tersebut memberikan langkah pertama untuk menentukan perkembangan baru IMT, melihat peran IMT di masa depan dan bagaimana ia dapat melayani masyarakat, melihat tren pasar, pengguna dan teknologi, dan implikasi spektrum. Tren pengguna untuk IMT bersama dengan

peran masa depan dan pasar mengarah ke serangkaian skenario penggunaan yang dibayangkan untuk komunikasi yang berpusat pada manusia dan berpusat pada mesin. Skenario penggunaan yang diidentifikasi adalah Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC), dan Massive Machine-Type Communications (mMTC).



Gambar 4.8 Teknologi Antarmuka Radio IMT-Advanced.

Kebutuhan akan pengalaman broadband seluler yang ditingkatkan, bersama dengan skenario penggunaan yang baru dan diperluas, mengarah pada serangkaian kemampuan yang diperluas untuk IMT-2020. Rekomendasi Visi memberikan panduan tingkat tinggi pertama untuk persyaratan IMT-2020 dengan memperkenalkan serangkaian kemampuan utama, dengan nomor target indikatif.

Sebagai kegiatan paralel, ITU-R WP5D menghasilkan laporan tentang “Tren teknologi masa depan sistem IMT terrestrial”, dengan fokus pada periode waktu 2015-2020. Ini mencakup tren aspek teknologi IMT masa depan dengan melihat karakteristik teknis dan operasional sistem IMT dan bagaimana mereka ditingkatkan dengan evolusi teknologi IMT. Dengan cara ini, laporan tentang tren teknologi terkait dengan LTE di 3GPP Rilis 13 dan seterusnya, sedangkan rekomendasi Visi melihat lebih jauh ke depan dan melampaui 2020. Aspek baru pada IMT-2020 adalah bahwa ia akan mampu beroperasi di pita IMT baru yang potensial di atas 6 GHz, termasuk pita mmwave. Dengan pemikiran ini, WP5D menghasilkan laporan terpisah yang mempelajari propagasi gelombang radio, karakteristik IMT, teknologi yang memungkinkan, dan penyebaran di frekuensi di atas 6 GHz.

Pada WRC-15, jalur-jalur baru yang potensial untuk IMT disiapkan untuk WRC-19, yang mencakup kemungkinan alokasi tambahan untuk layanan seluler dan untuk pengembangan IMT di masa mendatang. Alokasi ini diidentifikasi dalam sejumlah pita frekuensi dalam kisaran antara 24,25 dan 86 GHz. Pita tertentu dan kemungkinan penggunaannya secara global.

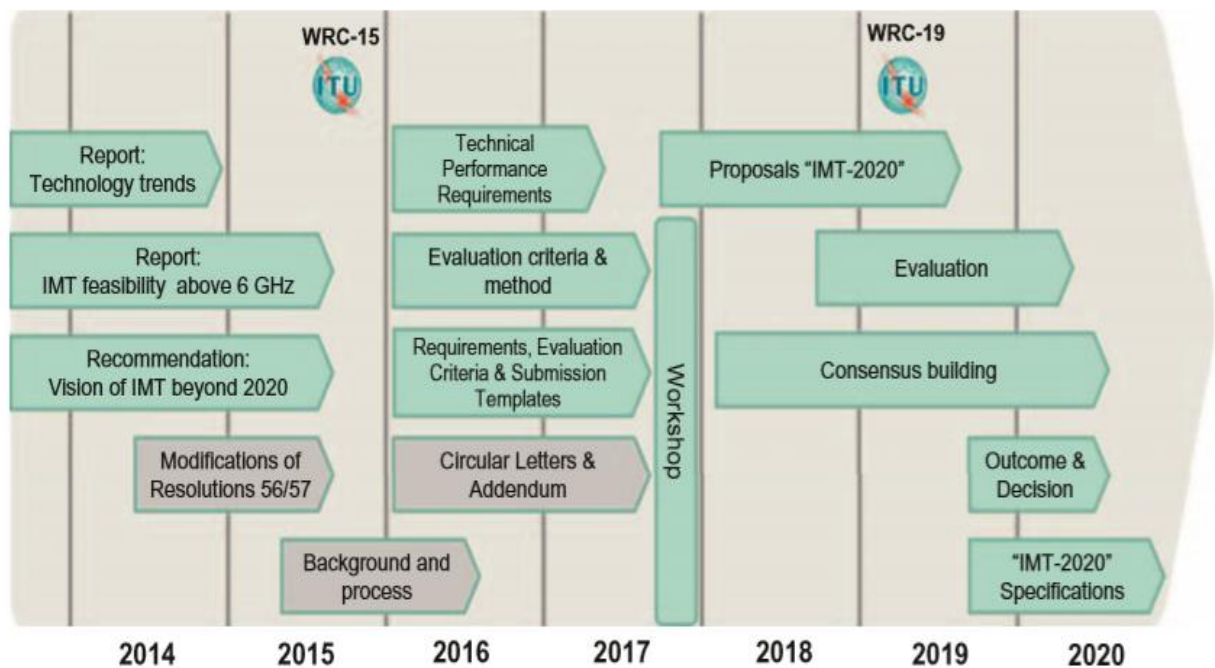
Setelah WRC-15, ITU-R WP5D melanjutkan proses pengaturan persyaratan dan penentuan metodologi evaluasi untuk sistem IMT-2020, berdasarkan rekomendasi Visi [47] dan hasil studi sebelumnya lainnya. Tahapan proses ini telah selesai pada pertengahan tahun 2017, seperti terlihat pada rencana kerja IMT-2020 pada Gambar 2.4. Hasilnya adalah tiga dokumen yang diterbitkan pada akhir tahun 2017 yang selanjutnya mendefinisikan kinerja dan karakteristik yang diharapkan dari IMT-2020 dan yang akan diterapkan dalam tahap evaluasi:

- Persyaratan teknis: Laporan ITU-R M.2410 mendefinisikan 13 persyaratan minimum terkait dengan kinerja teknis antarmuka radio IMT-2020. Persyaratan sebagian besar didasarkan pada kemampuan utama yang ditetapkan dalam rekomendasi Visi (ITU-R, 2015c).

- Pedoman evaluasi: Laporan ITU-R M.2412 mendefinisikan metodologi terperinci yang digunakan untuk mengevaluasi persyaratan minimum, termasuk lingkungan pengujian, konfigurasi evaluasi, dan model saluran.
- Templat pengajuan: Laporan ITU-R M.2411 menyediakan templat terperinci yang digunakan untuk mengirimkan kandidat teknologi untuk evaluasi. Ini juga merinci kriteria evaluasi dan persyaratan pada layanan, spektrum, dan kinerja teknis, berdasarkan dua laporan ITU-R yang disebutkan sebelumnya M.2410 dan M.2412.

Organisasi eksternal diberitahu tentang proses IMT-2020 melalui surat edaran. Setelah lokakarya tentang IMT-2020 diadakan pada Oktober 2017, proses IMT-2020 terbuka untuk menerima proposal kandidat.

Rencananya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 44.9, adalah memulai evaluasi proposal pada tahun 2018, yang bertujuan untuk mencapai hasil dengan RSPC untuk IMT-2020 yang diterbitkan pada awal tahun 2020.



Gambar 4.9 Rencana Kerja IMT-2020 di ITU-R WP5D

4.13.4 5G dan IMT-2020

Rencana waktu ITU-R terperinci untuk IMT-2020 disajikan di atas dengan langkah-langkah terpenting yang dirangkum dalam Gambar 4.8. Kegiatan ITU-R pada IMT-2020 dimulai dengan pengembangan rekomendasi “visi” ITU-R M.2083, yang menguraikan skenario penggunaan yang diharapkan dan kemampuan terkait yang diperlukan dari IMT-2020. Ini diikuti dengan definisi persyaratan yang lebih rinci untuk IMT-2020, persyaratan yang kemudian akan dievaluasi oleh kandidat teknologi, sebagaimana didokumentasikan dalam pedoman evaluasi. Persyaratan dan pedoman evaluasi diselesaikan pada pertengahan tahun 2017.

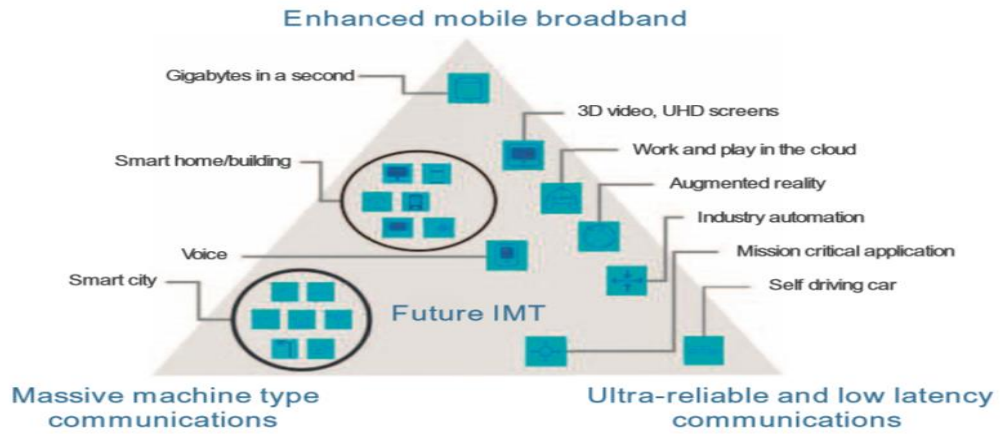
Dengan persyaratan yang telah diselesaikan, kandidat teknologi dapat diajukan ke ITU-R. Kandidat teknologi/teknologi yang diusulkan akan dievaluasi terhadap persyaratan IMT-2020 dan teknologi/teknologi yang memenuhi persyaratan akan disetujui dan diterbitkan sebagai bagian dari spesifikasi IMT-2020 pada paruh kedua tahun 2020.

4.13.5 Skenario Penggunaan untuk IMT-2020

Dengan berbagai kasus penggunaan baru yang menjadi salah satu pendorong utama untuk 5G, ITU-R telah menetapkan tiga skenario penggunaan yang merupakan bagian dari rekomendasi Visi IMT. Masukan dari industri seluler dan organisasi regional dan operator yang berbeda diambil ke dalam proses IMT-2020 di ITU-R WP5D, dan disintesis ke dalam tiga skenario:

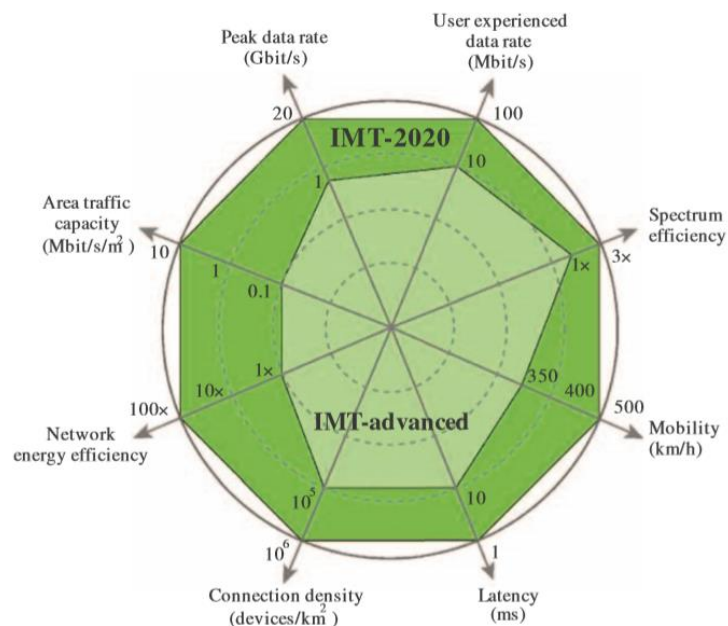
- *Broadband Seluler yang Disempurnakan (eMBB)*: Dengan broadband seluler saat ini menjadi pendorong utama penggunaan sistem seluler 3G dan 4G, skenario ini menunjukkan perannya yang berkelanjutan sebagai skenario penggunaan yang paling penting. Permintaan terus meningkat dan area aplikasi baru muncul, menetapkan persyaratan baru untuk apa yang disebut ITU-R Broadband Seluler yang Ditingkatkan. Karena penggunaannya yang luas dan ada di mana-mana, ini mencakup berbagai kasus penggunaan dengan tantangan yang berbeda, termasuk hotspot dan cakupan area yang luas, dengan yang pertama memungkinkan kecepatan data yang tinggi, kepadatan pengguna yang tinggi, dan kebutuhan akan kapasitas yang sangat tinggi, sementara yang kedua menekankan mobilitas dan pengalaman pengguna yang mulus, dengan persyaratan kecepatan data dan kepadatan pengguna yang lebih rendah. Skenario Broadband Seluler yang Disempurnakan secara umum dilihat sebagai menangani komunikasi yang berpusat pada manusia.
- *Komunikasi yang sangat andal dan latensi rendah (URLLC)*: Skenario ini dimaksudkan untuk mencakup komunikasi yang berpusat pada manusia dan mesin, di mana yang terakhir sering disebut sebagai komunikasi tipe mesin kritis (C-MTC). Hal ini ditandai dengan kasus penggunaan dengan persyaratan ketat untuk latensi, keandalan, dan ketersediaan tinggi. Contohnya termasuk komunikasi kendaraan-ke-kendaraan yang melibatkan keselamatan, kontrol nirkabel peralatan industri, operasi medis jarak jauh, dan otomatisasi distribusi dalam jaringan pintar. Contoh kasus penggunaan yang berpusat pada manusia adalah game 3D dan "Internet taktis", di mana persyaratan latensi rendah juga dikombinasikan dengan kecepatan data yang sangat tinggi.
- *Komunikasi jenis mesin besar-besaran (mMTC)*: Ini adalah kasus penggunaan mesin-sentris murni, di mana karakteristik utamanya adalah sejumlah besar perangkat terhubung yang biasanya memiliki transmisi yang sangat jarang dari volume data kecil yang tidak peka terhadap penundaan. Banyaknya perangkat dapat memberikan kepadatan koneksi yang sangat tinggi secara lokal, tetapi jumlah total perangkat dalam suatu sistem yang dapat menjadi tantangan nyata dan menekankan perlunya biaya rendah. Karena kemungkinan penyebaran perangkat mMTC dari jarak jauh, mereka juga diharuskan memiliki masa pakai baterai yang sangat lama

Skenario penggunaan diilustrasikan pada Gambar 4.9, bersama dengan beberapa contoh kasus penggunaan. Tiga skenario di atas tidak diklaim untuk mencakup semua kasus penggunaan yang mungkin, tetapi mereka memberikan pengelompokan yang relevan dari mayoritas kasus penggunaan yang diperkirakan saat ini dan dengan demikian dapat digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan utama yang diperlukan untuk teknologi antarmuka radio generasi berikutnya untuk IMT -2020. Pasti akan ada kasus penggunaan baru yang muncul, yang tidak dapat kami ramalkan hari ini atau jelaskan secara rinci. Ini juga berarti bahwa antarmuka radio baru harus memiliki fleksibilitas tinggi untuk beradaptasi dengan kasus penggunaan baru dan "ruang" yang dibentangkan oleh berbagai kemampuan utama yang didukung harus mendukung persyaratan terkait yang muncul dari kasus penggunaan yang berkembang.



Gambar 4.9 Kasus penggunaan IMT-2020 dan pemetaan ke skenario penggunaan.

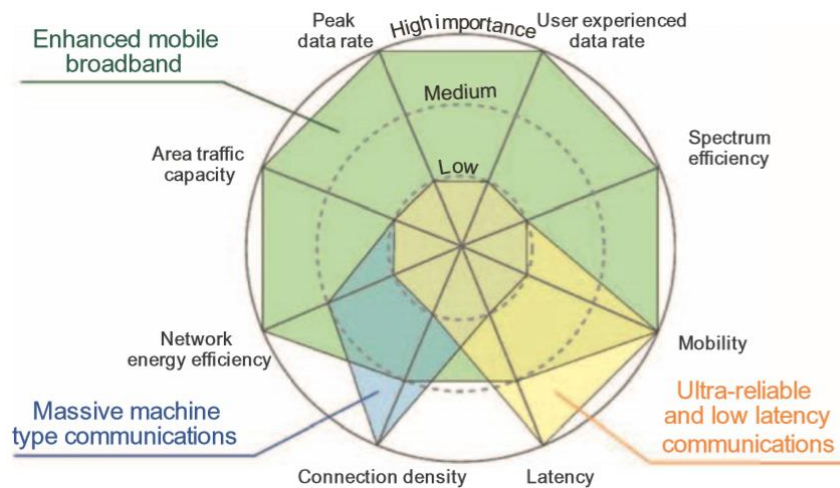
4.13.6 Kapabilitas IMT-2020



Gambar 4.10 Kemampuan utama IMT-2020.

Sebagai bagian dari pengembangan kerangka kerja untuk IMT-2020 sebagaimana didokumentasikan dalam rekomendasi Visi IMT, ITU-R menetapkan serangkaian kemampuan yang diperlukan untuk teknologi IMT-2020 untuk mendukung kasus penggunaan 5G dan skenario penggunaan yang diidentifikasi melalui masukan dari badan-badan regional, proyek penelitian, operator, administrasi, dan organisasi lainnya. Ada total 13 kemampuan yang ditentukan dalam ITU-R, di mana delapan dipilih sebagai kemampuan utama. Delapan kemampuan utama tersebut diilustrasikan melalui dua diagram “jaring laba-laba”.

Gambar 4.10 mengilustrasikan kemampuan utama bersama dengan angka target indikatif yang dimaksudkan untuk memberikan panduan tingkat tinggi pertama untuk persyaratan IMT-2020 yang lebih rinci yang sekarang sedang dikembangkan. Seperti yang dapat dilihat, nilai target sebagian mutlak dan sebagian relatif terhadap kemampuan yang sesuai dari IMT-Advanced. Nilai target untuk kapabilitas kunci yang berbeda tidak harus dicapai secara bersamaan dan beberapa target sampai batas tertentu bahkan saling eksklusif. Untuk alasan ini, ada diagram kedua yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 yang menggambarkan “pentingnya” setiap kemampuan kunci untuk mewujudkan tiga skenario penggunaan tingkat tinggi yang dibayangkan oleh ITU-R.



Gambar 4.11 Hubungan antara kemampuan kunci dan tiga skenario penggunaan ITU-R.

Kecepatan data puncak adalah angka di mana selalu ada banyak fokus, tetapi sebenarnya ini adalah latihan akademis. ITU-R mendefinisikan kecepatan data puncak sebagai kecepatan data maksimum yang dapat dicapai dalam kondisi ideal, yang berarti bahwa gangguan dalam implementasi atau dampak aktual dari penerapan dalam hal propagasi, dll. tidak ikut berperan. Ini adalah indikator kinerja kunci (KPI) dependen karena sangat bergantung pada jumlah spektrum yang tersedia untuk penyebaran operator. Selain itu, kecepatan data puncak tergantung pada efisiensi spektral puncak, yang merupakan kecepatan data puncak yang dinormalisasi oleh bandwidth:

$$\text{Kecepatan data puncak} = \text{Bandwidth sistem} \times \text{Efisiensi spektral puncak}$$

Karena bandwidth besar benar-benar tidak tersedia di salah satu pita IMT yang ada di bawah 6 GHz, diharapkan kecepatan data yang sangat tinggi akan lebih mudah dicapai pada frekuensi yang lebih tinggi. Ini mengarah pada kesimpulan bahwa kecepatan data tertinggi dapat dicapai di lingkungan dalam ruangan dan hotspot, di mana sifat propagasi yang kurang menguntungkan pada frekuensi yang lebih tinggi tidak terlalu penting.

Kecepatan data yang dialami pengguna adalah kecepatan data yang dapat dicapai pada area cakupan yang luas untuk sebagian besar pengguna. Ini dapat dievaluasi sebagai persentil ke-95 dari distribusi kecepatan data antar pengguna. Ini juga merupakan kemampuan yang bergantung, tidak hanya pada spektrum yang tersedia tetapi juga pada bagaimana sistem digunakan. Sementara target 100 Mbit/s ditetapkan untuk cakupan area luas di daerah perkotaan dan pinggiran kota, diharapkan sistem 5G dapat memberikan kecepatan data 1 Gbit/s di mana-mana di lingkungan indoor dan hotspot.

Efisiensi spektrum memberikan throughput data rata-rata per Hz spektrum dan per "sel", atau lebih tepatnya per unit peralatan radio (juga disebut sebagai Titik Penerimaan Transmisi, TRP). Ini adalah parameter penting untuk jaringan dimensi, tetapi level yang dicapai dengan sistem 4G sudah sangat tinggi. Target ditetapkan tiga kali lipat dari target efisiensi spektrum 4G, tetapi peningkatan yang dapat dicapai sangat bergantung pada skenario penerapan.

Kapasitas lalu lintas area adalah kemampuan lain yang bergantung, yang tidak hanya bergantung pada efisiensi spektrum dan bandwidth yang tersedia, tetapi juga pada seberapa padat jaringan dikerahkan:

$$\text{Kapasitas Lalu Lintas Area} = \text{Efisiensi spektrum} \times \text{BW} \times \text{Kepadatan TRP}$$

Dengan mengasumsikan ketersediaan lebih banyak spektrum pada frekuensi yang lebih tinggi dan bahwa penyebaran yang sangat padat dapat digunakan, target peningkatan 100 kali lipat dari 4G ditetapkan untuk IMT-2020.

Efisiensi energi jaringan, sebagaimana telah dijelaskan, menjadi kemampuan yang semakin penting. Target keseluruhan yang dinyatakan oleh ITU-R adalah bahwa konsumsi energi dari jaringan akses radio IMT-2020 tidak boleh lebih besar dari jaringan IMT yang digunakan saat ini, sambil tetap memberikan kemampuan yang ditingkatkan. Target tersebut berarti bahwa efisiensi energi jaringan dalam hal energi yang dikonsumsi per bit data oleh karena itu perlu dikurangi dengan faktor setidaknya sebesar peningkatan lalu lintas yang diperkirakan dari IMT-2020 relatif terhadap IMT-Advanced.

Lima kemampuan utama pertama ini sangat penting untuk skenario penggunaan Broadband Seluler yang Disempurnakan, meskipun mobilitas dan kemampuan kecepatan data tidak akan sama pentingnya secara bersamaan. Misalnya, di hotspot, pengalaman pengguna dan kecepatan data puncak yang sangat tinggi, tetapi mobilitas yang lebih rendah, akan diperlukan daripada dalam kasus cakupan area yang luas.

Latensi didefinisikan sebagai kontribusi jaringan radio terhadap waktu dari saat sumber mengirim paket hingga saat tujuan menerima. Ini akan menjadi kemampuan penting untuk skenario penggunaan URLLC dan ITU-R membayangkan bahwa diperlukan pengurangan 10 kali lipat dalam latensi dari IMT-Advanced.

Mobilitas dalam konteks kemampuan utama hanya didefinisikan sebagai kecepatan bergerak dan target 500 km/jam yang dibayangkan khususnya untuk kereta berkecepatan tinggi dan hanya peningkatan moderat dari IMT-Advanced. Namun, sebagai kemampuan kunci, ini juga penting untuk skenario penggunaan URLLC dalam hal komunikasi kendaraan kritis dengan kecepatan tinggi dan kemudian akan menjadi sangat penting secara bersamaan dengan latensi rendah. Perhatikan bahwa mobilitas dan kecepatan data pengalaman pengguna yang tinggi tidak ditargetkan secara bersamaan dalam skenario penggunaan.

Kepadatan koneksi didefinisikan sebagai jumlah total perangkat yang terhubung dan/atau dapat diakses per unit area. Target tersebut relevan untuk skenario penggunaan mMTC dengan kepadatan tinggi perangkat yang terhubung, tetapi kantor dalam ruangan padat eMBB juga dapat memberikan kepadatan koneksi yang tinggi.

Selain delapan kemampuan yang diberikan pada Gambar 4.10, ada lima kemampuan tambahan yang didefinisikan dalam:

- *Fleksibilitas spektrum dan bandwidth*
Fleksibilitas spektrum dan bandwidth mengacu pada fleksibilitas desain sistem untuk menangani skenario yang berbeda, dan khususnya pada kemampuan untuk beroperasi pada rentang frekuensi yang berbeda, termasuk frekuensi yang lebih tinggi dan bandwidth saluran yang lebih luas daripada saat ini.
- *Reliability*
Reliability berkaitan dengan kemampuan untuk menyediakan layanan yang diberikan dengan tingkat ketersediaan yang sangat tinggi.
- *Ketahanan*
Ketahanan adalah kemampuan jaringan untuk terus beroperasi dengan benar selama dan setelah gangguan alami atau buatan manusia, seperti hilangnya daya listrik.

- *Keamanan dan privasi*

Keamanan dan privasi mengacu pada beberapa area seperti enkripsi dan perlindungan integritas data pengguna dan pensinyalan, serta privasi pengguna akhir, mencegah pelacakan pengguna yang tidak sah, dan perlindungan jaringan terhadap peretasan, penipuan, penolakan layanan, man di tengah serangan, dll.

- *Waktu hidup operasional*

Waktu hidup operasional mengacu pada waktu operasi per kapasitas energi yang tersimpan. Ini sangat penting untuk perangkat jenis mesin yang membutuhkan masa pakai baterai yang sangat lama (misalnya lebih dari 10 tahun), yang perawatan rutinnya sulit karena alasan fisik atau ekonomi.

Perhatikan bahwa kemampuan ini tidak selalu kurang penting daripada kemampuan Gambar. 4.10, meskipun fakta bahwa yang terakhir disebut sebagai "kemampuan utama." Perbedaan utama adalah bahwa "kemampuan utama" lebih mudah diukur, sedangkan lima kemampuan lainnya lebih merupakan kemampuan kualitatif yang tidak dapat dengan mudah diukur.

4.14 Studi Kasus-Kurangnya Penelitian dan Standardisasi di Negara Anggota OIC

Seperti yang diilustrasikan pada bagian sebelumnya, telekomunikasi seluler sangat didorong oleh standarisasi. Partisipasi dan kontribusi dalam SDO diperlukan bagi suatu negara atau wilayah untuk memiliki suara di masa depan telekomunikasi seluler. Negara-negara atau wilayah yang berkontribusi kecil dalam proses pembangunan standar seperti kebanyakan negara MENAP (Timur Tengah, Afrika Utara, Afghanistan, dan Pakistan) memiliki dampak yang sangat kecil atau tidak sama sekali pada peta jalan masa depan. Sebagian besar dari 57 negara anggota OIC berada di bawah wilayah MENAP dan secara kolektif dibahas di bagian ini.

Juga tidak ada peran yang berarti dari negara-negara anggota OIC dalam penelitian, pengembangan, dan pembuatan telekomunikasi seluler. Tidak ada otoritas tunggal atau SDO seperti ETSI yang mewakili kawasan OIC di tingkat Internasional. Namun, beberapa Kementerian atau Otoritas Telekomunikasi khusus negara memiliki keanggotaan di beberapa SDO Internasional. Namun, keanggotaan mereka pada SDO Internasional ini dapat menjadi yang terbaik dibandingkan dengan keanggotaan klub kesehatan individu yang dia hadiri dua kali sebulan tanpa memiliki dampak dan hasil nyata!

Dalam hal R&D di telekomunikasi seluler:

1. Industri didorong oleh penyedia layanan yang hanya berfokus pada operasi sehari-hari dan karena itu tidak memiliki standarisasi khusus atau fungsi R&D.
2. Banyak penyedia layanan di negara-negara anggota OIC adalah bagian dari Grup Telekomunikasi Eropa. Pusat R&D konsorsium ini berada di Eropa, Amerika Utara, dan negara-negara Oriental (non-OIC) dan mereka tidak menganggap penting untuk memiliki pusat penelitian dan laboratorium tambahan di negara-negara anggota OIC.
3. Komunitas manufaktur telekomunikasi rumahan hampir tidak ada. Kantor vendor pemain Internasional terutama adalah kantor penjualan dan kegiatan R&D hampir tidak ada.

Sebagai aturan praktis, di sebagian besar negara anggota, institusi untuk standar teknis lemah [18]. Hanya Indonesia, Malaysia, dan mungkin beberapa negara lain yang memiliki program standarisasi yang berarti dari 57 negara anggota OIC. Melihat gambaran suram ini, tidak mudah menemukan pendekatan yang tepat dan seimbang untuk menyelesaikan masalah

tersebut. Namun, dua pendekatan yang mungkin dibahas di bagian ini sebagai solusi yang mungkin untuk tantangan tersebut. Pendekatan ini adalah:

1. Pendekatan Kolektif
2. Pendekatan Berbasis Negara Individu, seperti NSS

4.15 Pendekatan Kolektif-COMSTECH

Platform sains dan teknologi di tingkat Internasional yang mewakili negara-negara anggota OIC adalah COMSTECH (OIC Standing Committee on Scientific and Technological Corporation). Tujuan COMSTECH yang didirikan pada tahun 1981 adalah kerjasama dan promosi ilmu pengetahuan dan teknologi di dunia OIC^[17].

Ada 57 negara anggota OIC yang merupakan seperempat (1,55 miliar) penduduk dunia. Namun, pangsa 57 negara OIC dalam R&D global hanya 2,1%. COMSTECH bisa menjadi platform untuk pengembangan standar dan representasi negara-negara anggota di SDO Internasional untuk berbagai bidang Sains dan Teknologi (S&T), termasuk telekomunikasi. Namun, COMSTECH juga tidak memberikan perhatian di bidang ini dan pendekatannya lebih bersifat akademis. Analisis SWOT (kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman) dari COMSTECH mengungkapkan keadaan yang menyedihkan berikut ini^[18-20]:

- R&D: Sebagaimana dinyatakan sebelumnya, OIC hanya menyumbang 2,1% dari total Pengeluaran Domestik Bruto dunia untuk R&D (GERD)^[20]. Kontribusi dari pihak swasta sangat minim. Pengeluaran R&D swasta tertinggi dilaporkan untuk Turki sebesar 20% dari total pengeluaran R&D. Di sebagian besar negara maju, 60%-80% pengeluaran R&D disumbangkan oleh sektor swasta. Di Korea Selatan, 76% dari pengeluaran R&D berasal dari sumber swasta.
- Standardisasi: Lembaga negara anggota untuk standar teknis lemah dan hampir tidak memiliki peran dalam pengembangan standar Internasional.
- Portofolio paten: Negara-negara anggota OIC berkontribusi hanya 1,76% terhadap paten global pada tahun 2012. Kegiatan paten terutama terkonsentrasi di beberapa negara dengan Malaysia sebagai pemimpinnya diikuti oleh Turki, Indonesia, Iran, Mesir, Maroko, dan Arab Saudi. Satu lab R&D AS/Eropa (NOICa Bell Labs) memiliki lebih banyak paten daripada portofolio paten gabungan dari tujuh negara anggota OIC.

4.16 Catatan Akhir-Studi Kasus

Mungkin bijaksana bagi COMSTECH untuk memberikan kontribusi yang cukup besar pada aktivitas standardisasi 5G yang sedang berlangsung. Oleh karena itu, pembentukan Sekretariat Standardisasi COMSTECH menjadi sangat penting dan mendesak. Pembentukan 57 Sekretariat Standardisasi yang terpisah mungkin tidak diperlukan ketika satu Sekretariat Standardisasi dapat mengurus kebutuhan negara-negara OIC yang berpenghasilan rendah, menengah, dan tinggi, stabil dan kurang stabil. NSS saat ini yang hadir di beberapa negara anggota dapat terus ada sesuai kebutuhan, tetapi titik fokus mereka di tingkat Internasional harus menjadi Sekretariat Standardisasi OIC yang sama, yaitu CRSS, terutama untuk negara-negara di mana partisipasi dalam standardisasi Internasional kegiatan diabaikan.

Kontribusi dapat berfungsi sebagai dasar untuk pengembangan masa depan di bidang penelitian, pengembangan teknologi, standardisasi, pengembangan hak kekayaan intelektual (HAKI), dan kemudian mungkin memicu fabrikasi semikonduktor dan pengembangan produk penuh (manufaktur). Untuk mencapai tujuan ini, penting untuk menetapkan peraturan

kekayaan intelektual dan proses pengembangan standar yang diselaraskan di seluruh anggota OIC. Lebih penting lagi, akan lebih bijaksana bagi CRSS untuk menjadikan dirinya pemain yang sangat menonjol seperti ETSI dan mungkin memimpin aktivitas standarisasi telekomunikasi seluler generasi berikutnya, yaitu 6G dalam dekade berikutnya.

Elemen terpenting dari kesuksesan adalah perubahan pola pikir dari keuntungan operasional dan jangka pendek murni menjadi tujuan yang mengarah pada penelitian dan standarisasi, dan juga mencakup tujuan jangka panjang. Ini berarti keterlibatan bisnis swasta domestik dan pemerintah dalam mempromosikan S&T melalui R&D, standarisasi, dan portofolio paten.

Pada akhirnya, CRSS harus mengikuti pendekatan checks-and-balances di mana setiap orang bertanggung jawab untuk menjadi kisah sukses.

4.17 Kesimpulan

Bab ini membahas topik utama standarisasi dari perspektif global. Proses standarisasi beberapa SDO utama, termasuk 3GPP, IEEE-SA, dan ITU-T, telah dibahas. Kegiatan penelitian dan standarisasi 5G juga diuraikan secara singkat. Pedoman ITU untuk mendirikan sekretariat standarisasi nasional di negara berkembang dipresentasikan. Akhirnya, sebuah studi kasus menyoroti tidak adanya kegiatan standarisasi di negara-negara anggota OKI dan jalan ke depan dibahas.

4.18 Pertanyaan

1. Definisikan standarisasi dari perspektif vendor dan operator?
2. Jelaskan secara singkat proses pengembangan rilis 3GPP?
3. Apa saja langkah-langkah dari siklus hidup pengembangan standar IEEE-SA?
4. Apa peran Kelompok Studi ITU-T?
5. Apa tujuan utama ITU-R?
6. Tentukan aktivitas 3GPP untuk 5G?
7. Apa itu NS?
8. Apa saja tiga tingkat NSS?
9. Jelaskan peran COMSTECH?
10. Diskusikan secara kelompok pro dan kontra memiliki Sekretariat Standarisasi di tingkat Nasional versus Daerah?
11. Mengembangkan, dalam kelompok, studi kasus tentang pembentukan NSS untuk industri ITC non-telekomunikasi?

4.19 Referensi

1. 3GPP. Available at <http://www.3gpp.org/>
2. 3GPP Releases. Available at <http://www.3gpp.org/specifications/releases>
3. IEEE-SA. Available at <http://standards.ieee.org/>
4. ITU-T in brief. Available at <http://www.itu.int/en/ITU-T/about/Pages/default.aspx>
5. ITU-T Standards development. Available at <http://www.itu.int/en/ITU-T/about/Pages/development.aspx>
6. ITU-T Standards approval. Available at <http://www.itu.int/en/ITU-T/about/Pages/approval.aspx>
7. ITU Radiocommunication Sector. <http://www.itu.int/en/ITU-R/Pages/default.aspx>
8. The Internet Engineering Task Force (IETF). <https://www.ietf.org/>

9. IETF. RFC 2026 The Internet Standards Process—Revision 3. <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc2026/?includetext=1>
10. ITU-R. Work plan, timeline, process and deliverables for the future development of IMT. <http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Documents/Antipated-Time-Schedule.pdf>
11. ITU-R. ITU towards “IMT for 2020 and beyond”. <http://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>
12. 3GPP. RAN 5G Workshop—The Start of Something. <http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1734-ran5g>
13. InterDigital Inc. 5G Standardization. Mobile World Congress 2015.
14. Arnitsu 2016. 5G Standardization Status in 3GPP.
15. Flore, D. 2015. RAN Workshop on 5G: Chairman Summary.
16. Fishman, G. 2014. Guidelines on the Establishment of a National Standardization Secretariat for ITU-T—Bridging the Standardization Gap, ITU-T.
17. COMSTECH. Available at <http://comstech.org/>
18. SESRIC 2012. Annual Economic Report on OIC countries. Statistical, Economic and Social Research and Training Centre for Islamic Countries.
19. Naim, T.S. and Sheraz, U. 2013. SWOT analysis of OIC member states. COMSTECH.
20. SESRIC 2012. Current Stance of Science and Technology in OIC Countries.
21. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1162>

BAB 5

KONSEP 5G

Secara historis, teknologi seluler telah bertransisi dari satu generasi ke generasi berikutnya selama sepuluh tahun. Gambar 5.1 (direproduksi dari Bab 2 dengan sedikit modifikasi) menunjukkan evolusi ini dan menunjukkan kebutuhan untuk melihat melampaui 4G selama beberapa tahun ke depan untuk mendefinisikan dan mengembangkan jaringan seluler generasi berikutnya.

Generasi penerus ini, yang sekarang biasa disebut komunikasi seluler 5G (Generasi Kelima), telah memperoleh momentum yang luar biasa selama dua/tiga tahun terakhir. Perbedaan utama dari generasi sebelumnya adalah keterlibatan banyak industri vertikal (otomotif, energi, keuangan, kesehatan, dll) yang di masa lalu tidak terlalu vokal.

5G, yang diharapkan akan distandarisasi pada 2019/2020, akan mendukung teknologi akses radio baru yang disebut 5G-RN (radio baru) dan jaringan inti yang disempurnakan yang disebut NGC (Next Generation Core). Detail tentang 5G-RN dan jaringan inti yang ditingkatkan masing-masing disediakan di Bab 9 dan 11. Beberapa konsep terkait 5G lainnya, seperti MIMO masif untuk meningkatkan kapasitas, komunikasi perangkat-ke-perangkat untuk konektivitas yang lebih cepat, dan IoT (Internet of Things) untuk menghubungkan miliaran perangkat dan tantangan seperti Signaling Storms dan Massive HetNets (Jaringan Heterogen), juga dijelaskan dalam bab-bab yang relevan. Inti dari bab ini sampai batas tertentu adalah pada konsep yang berlaku untuk NR dan NGC seperti V2X (Vehicle to Everything) dan network slicing dan on air interface seperti radio kognitif, teknik akses saluran, dan akses radio awan. jaringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.

Selama 40 tahun terakhir, dunia telah menyaksikan empat generasi komunikasi seluler (lihat Gambar 5.1a).

Generasi pertama komunikasi seluler, muncul sekitar tahun 1980, didasarkan pada transmisi analog dengan teknologi utama AMPS (Advanced Mobile Phone System) yang dikembangkan di Amerika Utara, NMT (Nordic Mobile Telephony) yang dikembangkan bersama oleh pemerintah pada saat itu. operator jaringan telepon umum yang dikendalikan di negara-negara Nordik, dan TACS (Total Access Communication System) yang digunakan di, misalnya, Inggris Raya. Sistem komunikasi seluler berdasarkan teknologi generasi pertama terbatas pada layanan suara dan, untuk pertama kalinya, membuat telepon seluler dapat diakses oleh orang biasa.

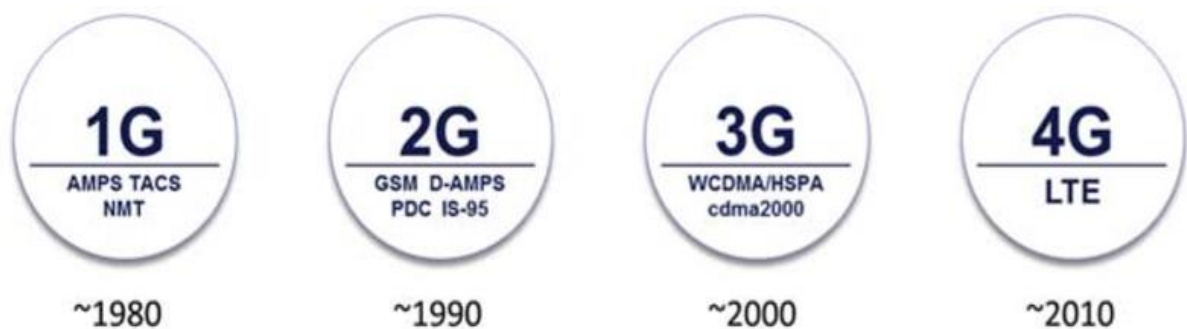
5.1 Apa itu 5G?

Generasi kedua komunikasi bergerak, yang muncul pada awal 1990-an, melihat pengenalan transmisi digital pada tautan radio. Meskipun layanan target masih suara, penggunaan transmisi digital memungkinkan sistem komunikasi seluler generasi kedua juga menyediakan layanan data terbatas. Awalnya ada beberapa teknologi generasi kedua yang berbeda, termasuk GSM (Global System for Mobile communication) yang dikembangkan bersama oleh sejumlah besar negara Eropa, D-AMPS (Digital AMPS), PDC (Personal Digital Cellular) dikembangkan dan hanya digunakan di Jepang, dan, dikembangkan pada tahap yang agak belakangan, teknologi IS-95 berbasis CDMA. Seiring berjalannya waktu, GSM menyebar dari Eropa ke bagian lain dunia dan akhirnya mendominasi sepenuhnya di antara teknologi generasi kedua. Terutama karena keberhasilan GSM, sistem generasi kedua juga mengubah

telepon seluler dari sesuatu yang masih digunakan oleh hanya sebagian kecil orang menjadi alat komunikasi yang menjadi bagian penting dari kehidupan bagi sebagian besar penduduk dunia. Bahkan saat ini ada banyak tempat di dunia di mana GSM mendominasi, dan dalam beberapa kasus bahkan satu-satunya yang tersedia, teknologi untuk komunikasi bergerak, meskipun kemudian diperkenalkan teknologi generasi ketiga dan keempat.

Komunikasi seluler generasi ketiga, sering disebut sebagai 3G, diperkenalkan pada awal tahun 2000. Dengan 3G, langkah nyata menuju broadband seluler berkualitas tinggi telah diambil, memungkinkan akses Internet nirkabel yang cepat. Ini terutama dimungkinkan oleh evolusi 3G yang dikenal sebagai HSPA (High Speed Packet Access). Selain itu, sementara teknologi komunikasi seluler sebelumnya semuanya telah dirancang untuk beroperasi dalam spektrum berpasangan (spektrum terpisah untuk tautan jaringan-ke-perangkat dan perangkat-ke-jaringan) berdasarkan Frequency-Division Duplex (FDD), 3G juga diperkenalkan pertama kali komunikasi seluler dalam spektrum tidak berpasangan berdasarkan teknologi TD-SCDMA yang dikembangkan di Cina berdasarkan Time Division Duplex (TDD).

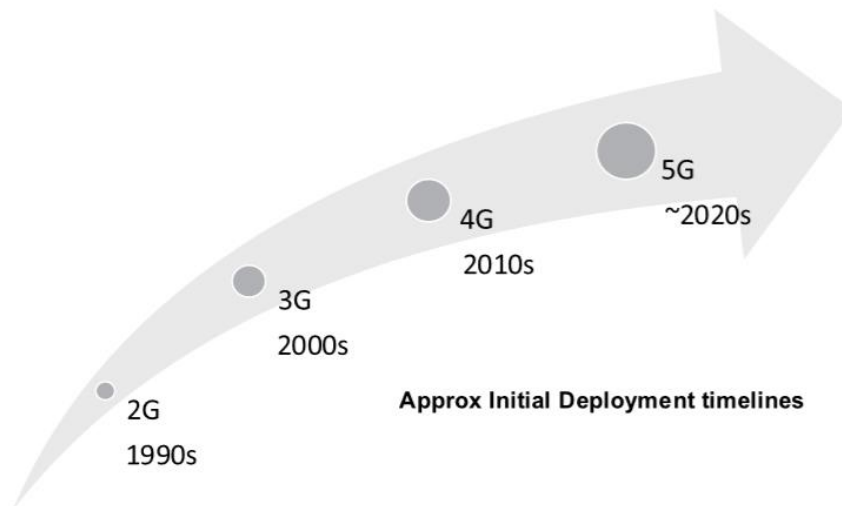
Kita sekarang, dan telah selama beberapa tahun, di era komunikasi seluler generasi keempat (4G), diwakili oleh teknologi LTE [28] LTE telah mengikuti langkah-langkah HSPA, memberikan efisiensi yang lebih tinggi dan lebih lanjut meningkatkan mobile-broadband pengalaman dalam hal kecepatan data pengguna akhir yang dapat dicapai lebih tinggi. Ini disediakan melalui transmisi berbasis OFDM yang memungkinkan bandwidth transmisi lebih lebar dan teknologi multi-antena yang lebih maju. Selain itu, sementara 3G memungkinkan komunikasi seluler dalam spektrum tidak berpasangan melalui teknologi akses radio tertentu (TD-SCDMA), LTE mendukung operasi FDD dan TDD, yaitu, operasi dalam spektrum berpasangan dan tidak berpasangan, dalam satu radio- teknologi akses. Melalui LTE, dunia telah menyatu menjadi satu teknologi global untuk komunikasi seluler, yang pada dasarnya digunakan oleh semua operator jaringan seluler dan berlaku untuk spektrum berpasangan dan tidak berpasangan. Seperti yang dibahas secara lebih rinci di Bab 4, evolusi LTE selanjutnya juga telah memperluas operasi jaringan komunikasi seluler ke dalam spektrum yang tidak berlisensi.



Gambar 5.1a Perbedaan generasi pada komunikasi seluler

5.2 Skenario Penggunaan dan Tujuan 5G

Rekomendasi ITU-R ITU-R M.2083-0 [1], diterbitkan pada bulan September 2015, mendefinisikan kerangka kerja dan tujuan keseluruhan dari pengembangan masa depan Telekomunikasi Seluler Internasional (IMT) untuk tahun 2020 dan seterusnya. Tujuan dasarnya adalah agar IMT-2020 dan seterusnya dapat memainkan peran penting dalam melayani kebutuhan masyarakat berjejaring baik untuk negara maju maupun negara berkembang di masa depan.



Gambar 5.1 Evolusi telekomunikasi seluler.

Rekomendasi ini mendefinisikan tiga skenario penggunaan (Gambar 5.3), yaitu:

- Broadband Seluler yang disempurnakan (eMBB): memberikan kecepatan lebih tinggi untuk aplikasi seperti penelusuran web, streaming, dan konferensi video.
- Komunikasi Ultra-reliable dan Low-latency (URLLC): memungkinkan aplikasi penting misi, otomatisasi industri, aplikasi medis baru, dan mengemudi otonom yang memerlukan waktu traversal jaringan yang sangat singkat.
- Massive Machine Type Communications (mMTC): memperluas kemampuan LTE IoT untuk mendukung sejumlah besar perangkat dengan jangkauan yang ditingkatkan dan masa pakai baterai yang lama.

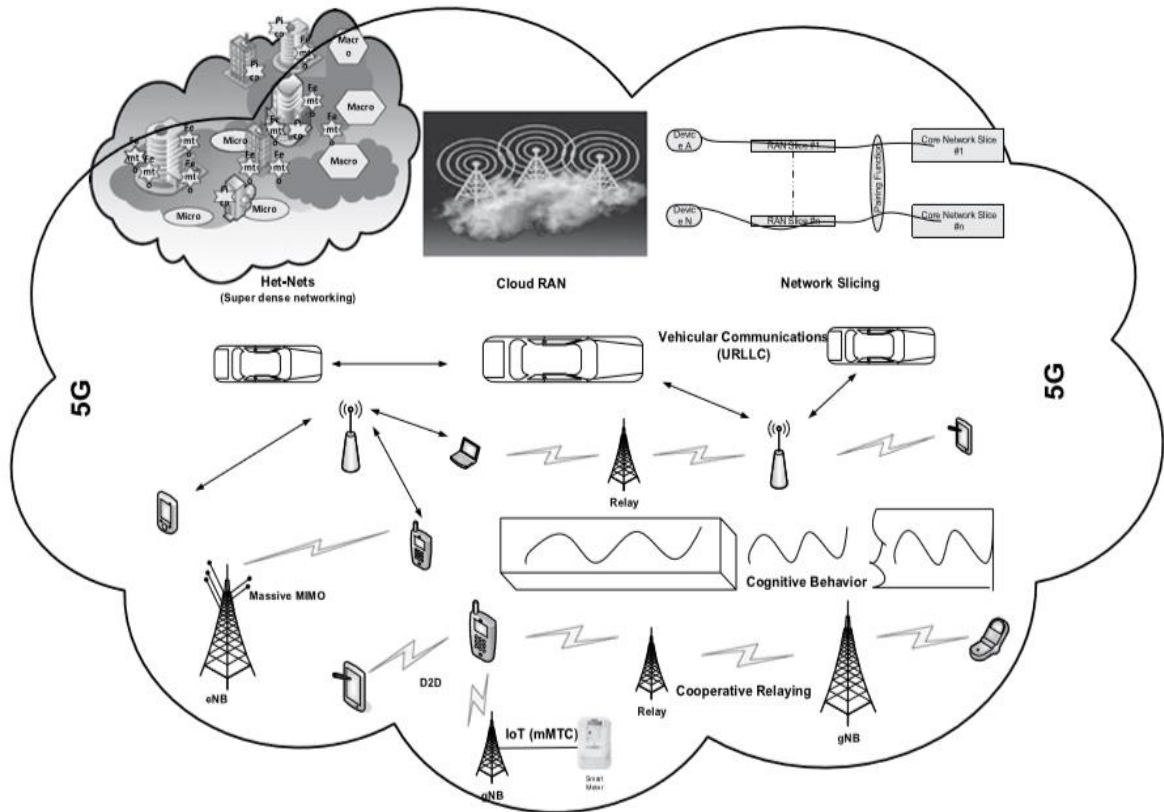
5.3 Aktivitas 5G

Sebelum beralih ke teknis, ada baiknya untuk melihat lanskap pengembangan 5G saat ini. Dapat dikatakan bahwa kegiatan dimulai pada tahun 2013, setidaknya beberapa tahun sebelum 3GPP dan ITU secara resmi menerbitkan agenda khusus tentang 5G.

Penelitian terapan dan kegiatan pengembangan teknologi sedang berlangsung di seluruh dunia. Eropa dan Asia (Cina, Jepang, dan Korea), sampai batas tertentu, berada di depan Amerika Utara. Amerika Serikat, bagaimanapun, memimpin dalam pengaturan spektrum frekuensi untuk jaringan dan aplikasi 5G pada tahun 2016.

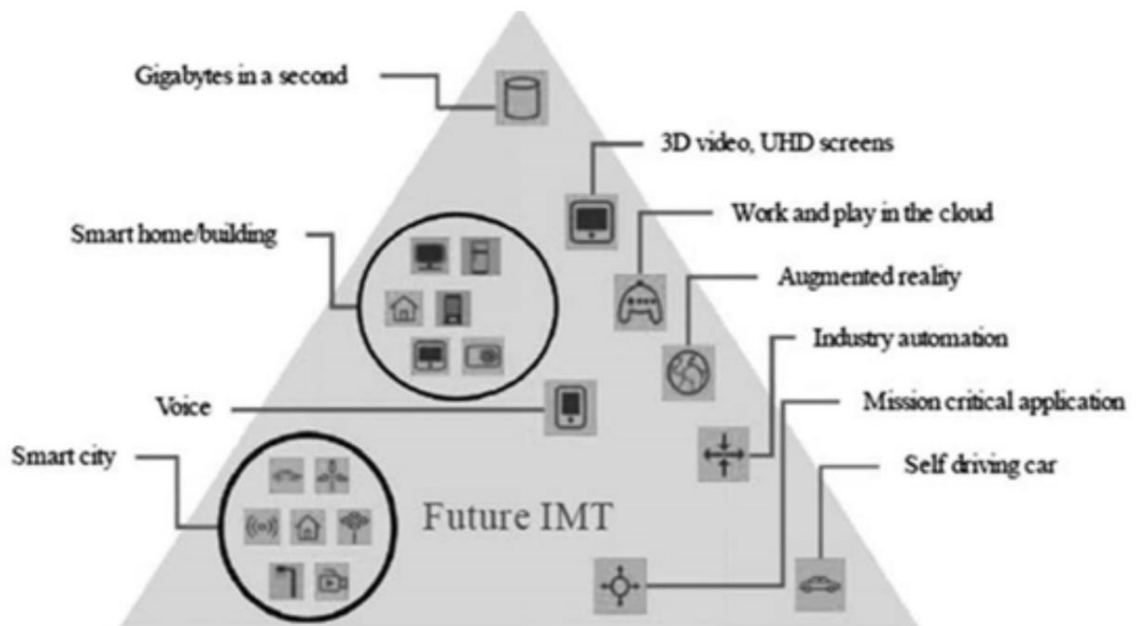
Selama jangka waktu 2013/2014, akademisi terutama terlibat dalam penelitian 5G di AS, sementara ada dukungan tingkat pemerintah selama waktu yang sama di Eropa dan Asia.

Rincian aktivitas 5G dapat dilihat di^[2] sedangkan ringkasannya adalah sebagai berikut (Tabel 5.1). Uji coba teknologi sebelumnya mulai tahun 2014 didorong oleh operator Korea dan Jepang dalam persiapan untuk menampilkan 5G pra-standar di masing-masing Olimpiade Musim Dingin 2018 dan Olimpiade Musim Panas 2020. WRC-15 mengidentifikasi beberapa pita frekuensi dalam kisaran 24-86 GHz untuk 5G/IMT. ITU-R menerbitkan persyaratan kinerja teknis IMT-2020 (5G) pada tahun 2017. 3GPP diharapkan untuk menyetujui spesifikasi 5G NR (tidak termasuk NGC) dalam Rel-15 pada tahun 2018. Rel-16 yang mencakup NGC diharapkan akan dibekukan pada tahun 2020.



Gambar 5.2 Konsep 5G

Penggunaan skenario IMT pada 2020 dan seterusnya



Komunikasi jenis Mesin masif

Komunikasi rendah lanten dan Ultra-reliable

Gambar 5.3 Skenario penggunaan IMT untuk tahun 2020 dan seterusnya. (Dari ITU-R 2015. Rekomendasi ITU-R M.2083-0—Visi IMT—Kerangka dan Tujuan Umum Pengembangan IMT Masa Depan untuk Tahun 2020 dan Selanjutnya^[1].)

Tabel 5.1 Aktivitas Utama 5G

Tahun	Aktivitas
2013	China membentuk Grup Promosi IMT-2020 untuk mempromosikan R&D 5G dengan uji coba negara pengarah dan kegiatan lainnya. Korea Selatan membentuk Forum 5G untuk menjadi kekuatan utama dalam mengembangkan teknologi komunikasi generasi berikutnya. Anggota fakultas Universitas Texas di Austin dan Universitas Stanford dianugerahi hibah National Science Foundation (NSF) untuk penelitian tentang jaringan nirkabel 5G.
2014	5G-PPP (5G Infrastructure Public-Private Partnership) adalah inisiatif Uni Eropa tahun 2014. 5G-PPP memilih 19 proyek selama Call-1, yang dimulai pada paruh kedua tahun 2015. 5G-PPP adalah bagian dari Proyek Kerangka Kerja ke-8 Uni Eropa (dikenal sebagai Horizon 2020). Uni Eropa dan Korea Selatan menandatangani Nota Kesepahaman untuk berkolaborasi dalam sistem, standar, dan harmonisasi frekuensi radio untuk 5G. Aliansi NGMN (Next Generation Mobile Networks) mulai bekerja pada 5G.
2015	Pemerintah AS meluncurkan Inisiatif Penelitian Nirkabel Lanjutan senilai Rp. 40 miliar yang dipimpin oleh National Science Foundation (NSF). Proyek Kunci Nasional China di 5G. Kelompok Kerja Layanan dan Persyaratan 3GPP memulai fase studi untuk persyaratan layanan 5G (dikenal sebagai pekerjaan SMARTER). Beberapa kelompok kerja lain juga mulai bekerja. ITU menerbitkan Rekomendasi ITU-R M.2083: "Visi IMT – Kerangka Kerja dan Tujuan Umum Pengembangan IMT Masa Depan untuk 2020 dan Selanjutnya". Huawei melakukan uji coba lapangan bersama teknologi akses radio baru 5G dengan NTT DoCoMo.
2017	ITU-R menerbitkan persyaratan kinerja teknis IMT-2020.

5.4 Metode Akses Channel/Dalam Antarmuka Udara

Salah satu ciri komunikasi seluler yang paling menarik adalah konektivitas nirkabel antara perangkat dan jaringan. Memiliki koneksi nirkabel seluler yang sempurna untuk kesenangan suara, video, dan data adalah kebutuhan hari ini dan besok. Namun, konektivitas nirkabel ini menghadirkan salah satu tantangan paling menakutkan dan mendasar di bidang ini.

Konektivitas nirkabel dalam komunikasi bergerak berhubungan langsung dengan spektrum frekuensi dan metode akses saluran (multiple access method). Spektrum langka dan mahal tetapi harus dimiliki untuk menjalankan jaringan seluler. Saluran (dalam hal ini suasana) tidak dapat diprediksi dan di luar kendali siapa pun. Tantangan yang menakutkan adalah menekan lebih banyak bps/Hz/km² (bit per detik per hertz per kilometer persegi), yang disebut efisiensi spektral sistem. Untuk mengatasi tantangan ini, di samping inovasi yang tak terhitung jumlahnya, hampir setiap generasi komunikasi seluler telah datang dengan metode akses ganda baru sebagai peningkatan dari yang sebelumnya. Sistem 2G menggunakan teknik FDMA (Frequency Division Multiple Access) dan TDMA (Time Division Multiple Access). Sistem 3G menggunakan CDMA (Code Division Multiple Access) sedangkan sistem LTE, WiMAX, dan 4G menggunakan OFDMA (Orthogonal FDMA). Dengan demikian, dapat dikatakan dengan aman dan hampir pasti bahwa 5G akan disematkan dengan satu atau lebih metode akses ganda yang

baru dan lebih baik atau ditanamkan dengan yang sudah ada dengan peningkatan yang memadai.

Berbagai metode akses ganda ortogonal dan nonortogonal untuk sistem 5G telah diteliti dan diselidiki setidaknya selama lima tahun terakhir. Beberapa akses nonorthogonal lebih cocok untuk uplink karena base station mampu membayar kompleksitas deteksi multiuser. Di sisi lain, untuk downlink, akses ganda ortogonal lebih cocok karena daya pemrosesan peralatan pengguna yang terbatas^[3,4]. Fokus bagian ini adalah pada beberapa metode akses saluran yang sedang berkembang yang sedang dipertimbangkan untuk sistem 5G. Namun, sebelum menyelami detail metode potensial tersebut, mungkin akan lebih baik untuk menyegarkan kembali pemahaman dasar tentang kapasitas saluran dan efisiensi spektral.

5.4.1 Channel Sounding

Banyak fitur transmisi dalam teknologi akses radio modern didasarkan pada ketersediaan pengetahuan yang kurang lebih rinci tentang karakteristik yang berbeda dari saluran radio di mana sinyal akan ditransmisikan. Ini mungkin berkisar dari pengetahuan kasar tentang kehilangan jalur saluran radio untuk penyesuaian daya pancar hingga pengetahuan terperinci tentang amplitudo saluran dan fase dalam domain waktu, frekuensi, dan/atau spasial. Banyak fitur transmisi juga akan mendapat manfaat dari pengetahuan tentang tingkat interferensi yang dialami di sisi penerima.

Pengetahuan seperti itu tentang karakteristik saluran yang berbeda dapat diperoleh dengan cara yang berbeda dan dengan pengukuran pada sisi pemancar atau sisi penerima tautan radio. Sebagai contoh, pengetahuan tentang karakteristik saluran downlink dapat diperoleh melalui pengukuran perangkat. Informasi yang diperoleh kemudian dapat dilaporkan ke jaringan untuk pengaturan parameter transmisi yang berbeda untuk transmisi downlink berikutnya. Sebagai alternatif, jika dapat diasumsikan bahwa saluran adalah timbal balik, yaitu, karakteristik saluran yang diminati adalah sama dalam arah transmisi downlink dan uplink, jaringan dapat, dengan sendirinya, memperoleh pengetahuan tentang karakteristik saluran downlink yang relevan dengan memperkirakan hal yang sama. karakteristik dalam arah uplink.

Alternatif yang sama ada dalam hal memperoleh pengetahuan tentang karakteristik saluran uplink:

- Jaringan dapat menentukan karakteristik uplink yang diinginkan dan memberikan informasi ke perangkat atau secara langsung mengontrol transmisi uplink berikutnya berdasarkan pengetahuan saluran yang diperoleh;
- Dengan asumsi saluran timbal balik, perangkat dapat, dengan sendirinya, memperoleh pengetahuan tentang karakteristik saluran uplink yang relevan melalui pengukuran downlink.

Terlepas dari pendekatan yang tepat untuk memperoleh pengetahuan saluran, biasanya ada kebutuhan untuk sinyal khusus di mana penerima dapat mengukur/memperkirakan karakteristik saluran yang diinginkan. Hal ini sering dinyatakan sebagai saluran terdengar.

Bab ini akan menjelaskan dukungan NR untuk sounding saluran tersebut. Khususnya, kami akan menjelaskan sinyal referensi spesifik, sinyal referensi informasi keadaan saluran downlink (CSI-RS) dan sinyal referensi suara uplink (SRS), di mana suara saluran biasanya didasarkan. Kami juga akan memberikan ikhtisar kerangka kerja NR untuk pengukuran lapisan fisik downlink dan pelaporan perangkat terkait ke jaringan.

5.5 Konsep Fundamental

Air-Interface: Air-interface mendefinisikan metode untuk mentransmisikan/menerima informasi melalui udara antara mobile dan base station. Antarmuka udara 2G, 3G, dan 4G semuanya dirancang dengan tetap memperhatikan KPI (Indikator Kinerja Utama) tertentu (misalnya, skor opini rata-rata untuk suara, tarif panggilan yang terputus/diblokir, throughput data, dan lain-lain.). Namun, tren yang muncul dari IoT, M2M (Mesin ke Mesin), V2X, dan sebagainya semuanya menuntut untuk melampaui pendekatan statis/spesifik seperti itu.

Kapasitas Saluran: Mengkomunikasikan pesan dari satu lokasi ke lokasi lain membutuhkan beberapa bentuk jalur atau media. Saluran komunikasi adalah media apapun (kabel atau nirkabel) di mana informasi dapat dikirim/diterima. Komunikasi seluler menggunakan gelombang radio untuk membawa informasi melalui udara dari pengguna ke base station dan sebaliknya.

Kapasitas saluran adalah batas atas yang ketat pada tingkat di mana informasi dapat ditransmisikan dengan probabilitas kesalahan kecil yang sewenang-wenang melalui saluran komunikasi. Teorema Shannon–Hartley yang terkenal menyediakan kapasitas saluran ini seperti yang diuraikan dalam Rumus 5.1.

Rumus 5.1

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

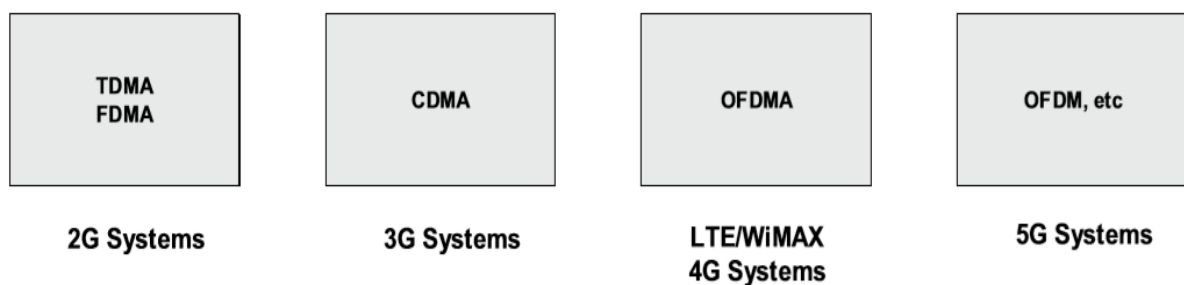
di mana

C adalah kapasitas saluran dalam bit per detik

B adalah bandwidth saluran dalam Hertz

S adalah rata-rata daya sinyal yang diterima melalui bandwidth, diukur dalam watt

N adalah rata-rata kebisingan atau daya interferensi atas bandwidth, diukur dalam watt (atau volt kuadrat)



Gambar 5.4 Metode akses saluran (lapisan fisik).

Dalam kasus titik ke titik, jika R (kecepatan bit aktual dalam bps) < C, teorema memberikan tingkat maksimum di mana informasi dapat ditransmisikan melalui saluran komunikasi di bawah bandwidth tertentu dengan adanya noise^[5]. Jika $R > C$, maka komunikasi tanpa kesalahan hampir tidak mungkin. Ketika ada lebih dari satu pengguna, yaitu, dalam kasus multipengguna, konsep dapat diperluas ke satu set semua pasangan (R1, R2) sedemikian rupa sehingga pengguna 1 dan pengguna 2 dapat berkomunikasi secara bersamaan pada tingkat R1 dan R2, masing-masing. Di bawah skenario ini, ketika bandwidth dibagi, satu pengguna dapat berkomunikasi pada tingkat yang lebih tinggi dan yang lain pada tingkat yang lebih rendah. Misalnya, di OFDM, tradeoff ini dicapai dengan memvariasikan jumlah subcarrier yang dialokasikan untuk setiap pengguna^[6].

Metode Akses Channel: Metode akses saluran didasarkan pada multiplexing yang memungkinkan berbagi saluran komunikasi antara pengguna/perangkat. Bentuk multiplexing ini didasarkan pada lapisan fisik atau lapisan 1 dari model OSI (Open System Interconnection). Metode akses saluran juga dapat didasarkan pada kontrol akses media (MAC) yang merupakan sublapisan dari lapisan 2 (Lapisan Tautan Data) dari model OSI. Bagian ini akan fokus pada metode akses saluran yang berlaku untuk lapisan fisik.

Tiga teknik akses ganda yang saat ini berlaku dalam komunikasi seluler adalah FDMA, TDMA, dan CDMA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4. FDMA menyediakan pita frekuensi yang berbeda untuk aliran data yang berbeda sedangkan TDMA menyediakan slot waktu yang berbeda untuk aliran data yang berbeda. Dalam CDMA, beberapa sinyal pesan ditransfer secara bersamaan melalui frekuensi pembawa yang sama, menggunakan kode penyebaran yang berbeda.

OFDMA, yang digunakan dalam standar 4G, adalah bentuk FDMA. OFDM mencapai efisiensi spektral tinggi dengan menggunakan subcarrier ortogonal. Ortogonalitas memungkinkan spektrum subcarrier tumpang tindih, yang pada gilirannya memungkinkan transmisi lebih banyak data daripada FDMA melalui bandwidth tetap yang sama^[7].

Namun OFDM memang memiliki kekurangan seperti spektrum yang tidak terlokalisasi dan membutuhkan guard band. Spasi subcarrier dan durasi simbol tetap dan transmisi sinkron mengharuskan overhead yang besar untuk penyesuaian waktu. Kekurangan tersebut membuat *OFDM kurang menarik untuk beberapa skenario penggunaan 5G*^[3].

Efisiensi Spektral: Sebagaimana dinyatakan dalam Bab 3, efisiensi spektral mengacu pada tingkat informasi yang dapat ditransmisikan melalui bandwidth tertentu dalam sistem komunikasi tertentu. Efisiensi spektral sistem komunikasi seluler sangat bergantung pada pilihan metode akses ganda. Faktor lain mungkin termasuk jenis modulasi yang digunakan, metode koreksi kesalahan, faktor penggunaan kembali frekuensi, jumlah pengguna yang dilayani, kemampuan radio, dan persentase waktu layanan aktif. Namun, efisiensi spektral suatu teknologi sebagian besar tidak tergantung pada frekuensi di mana ia beroperasi, karena modulasi dan pengkodean adalah sama pada frekuensi yang berbeda^[8,9].

Ini dapat diukur sebagai bit/s/Hz yang disebut efisiensi spektral tautan atau bit/s/Hz per sel (situs) yang merupakan efisiensi spektral sistem. Efisiensi spektral sistem lebih praktis karena menjelaskan seberapa efisien operator telah menyebarkan sejumlah spektrum tertentu^[8]. FCC TAC (Dewan Penasihat Teknologi) secara khusus merekomendasikan bps/Hz/km² sebagai metrik untuk Sistem Komunikasi Pribadi¹⁰, yang memperhitungkan efisiensi spektral (bps/Hz) dan kepadatan penyebaran^[10].

Teknologi nirkabel canggih saat ini pada dasarnya hampir mencapai Shannon Bound, yang menentukan efisiensi teoritis maksimum/lebih tinggi yang mungkin relatif terhadap kebisingan. Dengan demikian, keuntungan di masa depan dalam efisiensi spektral akan terbatas kecuali jika teknik akses ganda yang lebih baik dikembangkan atau peningkatan yang memadai dilakukan atas yang sudah ada untuk jaringan 5G.

5.6 Akses Multipel/Bentuk Gelombang

Antarmuka udara satu ukuran untuk semua, yang telah menjadi solusi umum selama lebih dari dua puluh tahun terakhir, mungkin tidak lagi menjadi solusi total untuk 5G^[11]. Pertama, karena

¹⁰ ITU menjelaskan Layanan Komunikasi Pribadi sebagai komponen standar IMT-2000 (3G)
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

pita spektrum yang tersedia untuk 5G dapat didistribusikan pada rentang frekuensi yang besar, termasuk bahkan pita gelombang milimeter, antarmuka udara harus cukup fleksibel sehingga dapat beroperasi di pita frekuensi yang berbeda. Bersama dengan arsitektur frekuensi radio (RF) canggih dan pemrosesan sinyal terkait RF, ia perlu mendukung peralihan fleksibel antara pita frekuensi yang berbeda atau operasi simultan di beberapa pita frekuensi, termasuk penggunaan pita tertentu yang terfragmentasi. Untuk itu diperlukan numerologi dan struktur rangka yang fleksibel serta konfigurasi yang adaptif^[12].

3GPP melalui Rel-14-nya telah mendukung bentuk gelombang berbasis OFDM untuk eMBB yang beroperasi hingga 40 GHz di downlink dan uplink. Berbasis DFT-S-OFDM (Discrete Fourier transform Spread OFDM) dan bentuk gelombang CP-OFDM (Cyclic Prefix OFDM) juga didukung dalam uplink untuk eMBB yang beroperasi hingga 40 GHz [13]. Karakteristik radio untuk layanan URLLC didefinisikan dalam Rel-15 dan Rel-16^[14].

OFDM menghindari interferensi dan menciptakan kapasitas tinggi tetapi membutuhkan banyak sinyal dan meningkatkan penundaan. Penundaan mungkin tidak cocok untuk URLLC dan pensinyalan berat untuk jenis aplikasi mMTC^[15]. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan berbagai layanan 5G, sejumlah bentuk gelombang termasuk OFDM dibahas dalam 3GPP^[16]. Kandidat metode akses ganda dapat dicirikan oleh tanda tangan (atribut) seperti penggunaan buku kode, mode ortogonal/nonortogonalitas, dan adanya interleaver/scrambler. Di penerima, skema deteksi multi-pengguna digunakan untuk mengekstrak data asli berdasarkan basis per pengguna. Deskripsi tingkat tinggi dari metode akses ini dibahas di bagian ini.

5.6.1 OFDM

OFDM adalah teknik modulasi multi-carrier yang dikembangkan pada 1960-an. Standar berbasis OFDM pertama adalah Digital Audio Broadcasting yang dikembangkan oleh ETSI pada tahun 1995. Sejak itu, OFDM telah menjadi bagian tak terpisahkan dari banyak standar telekomunikasi/penyiaran dan bentuk CP-OFDM-nya saat ini digunakan di LTE, WiMAX, dan LTE-Advanced (4G) standar.

OFDM memanfaatkan penggunaan awalan siklik untuk mengurangi intersymbol interference (ISI) dan operasi IFFT/FFT. IFFT/FFT (Transformasi Inverse/Fast Fourier) memungkinkan penggabungan beberapa operator pada pita dasar yang mengarah ke OFDMA. OFDMA menawarkan skalabilitas bandwidth, ketahanan terhadap multipath, dan integrasi yang efektif dengan MIMO. Namun, selain manfaatnya, OFDM menderita PAPR (Rasio Daya Puncak-ke-Average) yang tinggi dan lokalisasi frekuensi yang lebih rendah karena penggunaan filter bentuk pulsa. Detail OFDM/OFDMA dapat dilihat di^[7].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, beberapa add-on dapat ditambahkan ke OFDM dan dengan atribut tambahan ini dapat menjadi metode akses yang sesuai untuk 5G. Add-on seperti Weighted Overlap and Add (WOLA) yang dijelaskan dalam^[16,17], yang menggantikan pulsa persegi panjang dengan pulsa dengan tepi lembut di kedua sisi, menghasilkan peluruhan sidelobe yang jauh lebih tajam dalam domain frekuensi. Peluruhan ini mengurangi kebocoran out-of-band (OOB) di ujung pemancar. Di penerima, WOLA memberikan penekanan gangguan pengguna lain (asinkron).

5.6.2 GFDM

Generalized Frequency Division Multiplexing (GFDM) adalah salah satu metode transmisi multi-operator nonorthogonal yang telah dipertimbangkan untuk sistem 5G. Ini memberikan

radiasi OOB dan lokalisasi frekuensi rendah karena filter pembentuk pulsa variabel, menjadikannya pilihan yang menarik untuk IoT dan radio kognitif yang beroperasi di ruang putih TV. Studi telah menunjukkan keunggulannya atas OFDM karena radiasi OOB rendah dan PAPR rendah.

Sebagaimana dinyatakan di atas, GFDM menggunakan filter pembentuk pulsa variabel untuk mencapai lokalisasi frekuensi. Lokalisasi ini memungkinkan bentuk gelombang untuk masuk ke lubang spektral sempit menghilangkan interferensi ke pita frekuensi yang berdekatan [18]. Bentuk pulsa yang ideal perlu dilemahkan dengan sangat tajam baik dalam domain frekuensi dan waktu untuk menghindari tumpang tindih dengan pembawa/symbol yang berdekatan untuk menghindari intercarrier interferensi (ICI) dan ISI. Namun, bentuk pulsa tersebut tidak ada dan dengan demikian kompromi harus dilakukan dengan redaman tergantung pada karakteristik saluran^[19]. Filter tersebut juga mempengaruhi ortogonalitas antara subcarrier yang menghasilkan ICI/ISI, yang dapat diatasi dengan teknik deteksi yang efisien di sisi penerima.

Transceiver GFDM mirip dengan transceiver OFDM kecuali ia menggunakan filter berbentuk pulsa untuk setiap subcarrier dan teknik tail biting¹¹. Beberapa jenis Rx-filter (filter penerima) berguna untuk GFDM, yaitu, penerima filter yang cocok, penerima pemaksaan nol, dan penerima kesalahan kuadrat rata-rata (MMSE) minimum dengan kinerja yang bervariasi.

5.6.3 NOMA

Teknologi LTE dan 4G (LTE-Advanced) saat ini didasarkan pada skema OMA, yaitu OFDM. Telah diketahui secara luas bahwa OFDM menderita PAPR tinggi, dapat menyebabkan ICI karena hilangnya ortogonalitas subcarrier, dan memiliki beberapa gangguan lain juga [21]. Dengan demikian, untuk meningkatkan efisiensi spektral, skema nonorthogonal, yaitu NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access), telah dipertimbangkan untuk 5G.

NOMA membawa atribut tambahan ke gambar, yaitu, kekuatan yang belum dianggap untuk membedakan pengguna dengan skema akses ganda yang saat ini digunakan. Dalam NOMA, beberapa pengguna dapat mengirimkan pada saat yang sama menggunakan kode dan frekuensi yang sama tetapi dengan tingkat daya yang berbeda^[24]. Dalam metode akses ini, beberapa pengguna dimultipleks dalam domain daya di ujung transmisi dan di sisi penerima, SIC (Successive Interference Cancellation) dapat digunakan untuk pemisahan sinyal multi-pengguna^[22-25].

Pembagian daya ini mengurangi jumlah daya yang dialokasikan untuk setiap pengguna, oleh karena itu, pengguna dengan penguatan saluran yang tinggi diberi daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan pengguna dengan penguatan saluran yang lebih rendah. Peningkatan kinerja dibandingkan dengan OMA meningkat ketika perbedaan dalam perolehan saluran (misalnya, kehilangan jalur antara terminal pengguna) besar. NOMA menempatkan banyak pengguna dalam domain daya (membentuk pengkodean superposisi) sambil memungkinkan pemisahan pengguna di ujung penerima melalui SIC. NOMA memperkenalkan kompleksitas dan penundaan tambahan karena penggunaan SIC dan peningkatan kinerja juga tidak signifikan pada SRN rendah^[26]. NOMA cocok untuk jenis layanan eMBB dan mMTC (Massive

¹¹ Menggigit ekor digunakan untuk menghilangkan kebutuhan akan periode peninjauan tambahan yang diperlukan dalam sistem konvensional untuk mengimbangi penyaringan ekor dan mencegah tumpang tindih simbol berikutnya^[20].

MachineType Communications), tetapi mungkin tidak untuk URLLC karena penundaan bawaan yang terkait dengan SIC.

5.6.4 UFMC

UFMC atau Universal Filtered Multicarrier adalah modifikasi dari bentuk gelombang CP-OFDM yang terkenal. Istilah UF-OFDM (Universal Filtered OFDM) juga digunakan secara sinonim dengan UFMC.

Dalam CP-OFDM, simbol dipisahkan menggunakan CP dan seluruh pita frekuensi disaring secara digital secara keseluruhan. UFMC, bagaimanapun, menerapkan penyaringan pada basis per sub-band (yaitu, blok subcarrier) dan menghindari penggunaan CP [27]. Pendekatan penyaringan bijaksana sub-band diselidiki karena ketidakselarasan waktu-frekuensi biasanya terjadi antara blok subcarrier (misalnya, alokasi sumber daya bijaksana sub-band dari pengguna uplink yang berbeda). Selain itu, karena frekuensi filter lebih luas, ini menjadi lebih pendek dalam waktu, memberikan komunikasi yang lebih baik dalam ledakan singkat yang diperlukan untuk aplikasi mMTC/IoT [28]. Dapat dicatat bahwa penggunaan bantalan nol sebagai ganti CP meningkatkan efisiensi spektral; namun, itu membuat UFMC lebih sensitif terhadap ketidakselarasan waktu dibandingkan dengan bentuk gelombang CP-OFDM^[29].

5.6.5 FBMC

Filter bank multicarrier (FBMC) adalah salah satu bentuk gelombang 5G potensial di mana pemfilteran dianggap pada tingkat yang sangat terperinci, yaitu per subcarrier. Secara sederhana, FBMC mewakili sistem multicarrier di mana sinyal subcarrier tunggal disaring secara individual dengan filter prototipe^[30]. FBMC diusulkan untuk aplikasi radio kognitif^[16].

Untuk sistem multi-akses yang khas untuk bekerja, penerima (FFT) harus benar-benar selaras dalam waktu dengan pemancar (IFFT). Selama propagasi multipath, simbol multicarrier tumpang tindih pada input penerima menghasilkan ISI. ISI selanjutnya mengakibatkan hilangnya ortogonalitas pembawa yang membuat demodulasi lebih sulit hanya dengan FFT. FBMC mengatasi tantangan ini dengan menambahkan beberapa pemrosesan tambahan ke FFT sambil menjaga waktu dan durasi simbol sebagaimana adanya. Pemrosesan tambahan ini bersama-sama dengan FFT merupakan kumpulan filter^[31].

Pendekatan FBMC berbeda dari kedua OFDM di mana penyaringan diterapkan pada seluruh pita frekuensi dan UFMC yang menyaring pada basis sub-band. Jadi, alih-alih memiliki pulsa sinc seperti OFDM, subcarrier memiliki bentuk yang sesuai dengan desain filter dan dengan sidelobe yang dapat diabaikan^[27]. Namun, filter prototipe sangat sempit dalam frekuensi, memerlukan panjang filter yang agak panjang (biasanya 3-4 kali panjang simbol multicarrier dasar). Panjang filter yang lebih panjang membutuhkan area ramp up dan ramp down yang panjang untuk mengatasi transmisi data bursty. Penyaringan subcarrier memudahkan berbagi spektrum dan penginderaan spektrum, membuat FBMC sangat berlaku untuk jaringan radio kognitif^[27,30,32]. FBMC juga menawarkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap Doppler dan gangguan waktu dan frekuensi dibandingkan dengan OFDM karena penggunaan filter yang sesuai. Ini juga memberikan efisiensi spektral yang lebih tinggi karena tidak menggunakan awalan siklik^[30,33].

5.6.6 SCMA

Sparse Code Multiple Access (SCMA) adalah teknik akses ganda berbasis buku kode nonorthogonal yang sedang berkembang. Dalam SCMA, bit-bit yang dikodekan secara

langsung dipetakan ke codeword sparse multidimensi. Dengan kata lain, mapper QAM (Quadrature Amplitude Modulation) dan spreader CDMA (atau Low Density Signature¹²) digabungkan untuk secara langsung memetakan bit yang masuk ke vektor sparse kompleks yang disebut codeword. Setiap lapisan memiliki satu set buku kode SCMA tertentu dan sejumlah besar lapisan memungkinkan konektivitas besar-besaran. Lapisan nonorthogonally ditumpangkan di atas satu sama lain^[35-37]. Codewords jarang dan nonorthogonal dan dapat dideteksi dengan sedikit teknik deteksi kompleks di ujung penerima^[38].

SCMA menggantikan modulasi QAM dan penyebaran LDS (Low Density Signature) dengan buku kode multidimensi yang memungkinkan perolehan pengkodean konstelasi multi-dimensi dibandingkan dengan pengulangan LDS yang sederhana. Dengan demikian, SCMA memberikan efisiensi spektral yang lebih baik daripada CDMA/LDS karena keuntungan pengkodean multi-dimensi dari buku kode sambil menjaga manfaat LDS dalam hal kelebihan beban dan kompleksitas deteksi yang moderat^[35].

5.6.7 Ringkasan

Untuk meringkas, satu atau lebih beberapa metode akses dapat ditentukan untuk jaringan 5G. Metode ini perlu memberikan efisiensi spektral yang lebih tinggi, emisi in-band dan OOB yang lebih rendah, memungkinkan akses asinkron, overhead yang lebih rendah, konsumsi daya yang lebih rendah, dan kompleksitas yang wajar dalam desain transceiver [39]. Contoh bentuk gelombang yang didukung oleh pendekatan multi-carrier berbasis OFDM termasuk CP-OFDM dengan WOLA, UPMC, FBMC, GFDM, dan sebagainya. Metode akses nonorthogonal termasuk NOMA dan seterusnya, sedangkan metode berbasis codebook termasuk SCMA dan seterusnya. Kategori berdasarkan interleaver/scrambler yang menyertakan metode seperti RSMA (Resource Spread Multiple Access) dan sebagainya tidak dibahas. Tabel 5.2 memberikan perbandingan singkat dari berbagai metode akses ganda.

Tabel 5.4 Perbandingan Metod Akses Multipel

Wireless Generation	Waveform/ Multiple Access Method	Key Application	Minimum Channel Bandwidth	IFFT/FFT Operation	Cyclic Prefix	Codewords
1G	FDMA	Voice	30 kHz	No	No	No
2G	FDMA, TDMA	Voice, low speed	200 kHz	No	No	No
	CDMA	Data (around 100 kbps)	1.25 MHz			Yes
3G	CDMA	Voice, mid speed	1.25 MHz	No	No	Yes
	WCDMA	Data (approx. 10s of Mbps)	5 MHz			Yes
LTE/4G	OFDMA SC-FDMA	High Speed Data – Mobile Broadband (approx. 100s of Mbps)	1.4 to 20 MHz	Yes	Yes	No
5G	OFDM-based (orthogonal)	eMBB	100s of MHz	Yes	Yes	No
	Codebook based (non-orthogonal)	URLLC		No	No	Yes
	Interleaver/ Scrambler based	mMTC		Yes (multicarrier)	Yes	No

¹² Sejumlah besar chip dalam urutan disamakan dengan $\text{noI}^{[34]}$.

5.7 Radio Kognitif

Kelangkaan spektrum telah menjadi tantangan karena munculnya aplikasi yang haus bandwidth. Praktik penetapan spektrum statis saat ini, di mana pita frekuensi tertentu ditetapkan ke organisasi/pengguna tertentu untuk jangka panjang dan di wilayah geografis yang luas, tidak lagi dianggap sebagai opsi yang sesuai, terutama dalam hal 5G.

Cognitive Radio (CR) adalah salah satu solusi potensial untuk meningkatkan efektivitas spektrum yang ditetapkan yang kurang dimanfaatkan. Konsep radio kognitif pertama kali diusulkan oleh Joseph Mitola dalam tesisnya dan diterbitkan dalam sebuah artikel oleh Mitola dan Gerald Q. Maguire, Jr., dari Royal Institute of Technology, Stockholm pada tahun 1999. Menurut mereka, CR memperluas radio perangkat lunak dengan penalaran berbasis model domain radio tentang etiket radio. Etiket radio adalah kumpulan pita RF, antarmuka udara, protokol, dan pola spasial dan temporal yang memoderasi penggunaan spektrum radio^[40,41].

FCC menyatakan bahwa CR adalah salah satu yang memiliki kemampuan untuk mengubah parameternya berdasarkan interaksi dengan lingkungan operasinya untuk memaksimalkan pemanfaatan spektrum radio. Interaksi ini mungkin melibatkan negosiasi aktif atau komunikasi dengan pengguna spektrum lain dan/atau penginderaan pasif dan pengambilan keputusan dalam radio^[42].

Selanjutnya, tujuan utama CR adalah untuk mendapatkan spektrum terbaik yang tersedia melalui kemampuan kognitif tanpa mengganggu transmisi pengguna utama. Ini memungkinkan pemanfaatan spektrum berlisensi sementara yang tidak digunakan yang umumnya dikenal sebagai ruang putih atau lubang spektrum^[43].

Bagian ini akan menjelaskan secara singkat upaya standarisasi untuk CR dan aspek regulasi dan menyoroti elemen kunci dari jaringan CR.

5.7.1 Standarisasi

Sejumlah besar penelitian telah dilakukan di radio semacam itu oleh berbagai organisasi standar, aliansi industri, dan peneliti independen. Penelitian yang sedang berlangsung telah mengarah pada pengembangan berbagai standar pada CR yang dapat membantu dalam pengembangan standar/spesifikasi 5G. ETSI, IEEE, dan IETF adalah organisasi utama yang telah menghasilkan standar CR.

5.7.2 Standar IEEE

Sejumlah komite dan kelompok kerja IEEE telah memberikan spesifikasi tentang CR, pembagian spektrum dinamis, dan pemanfaatan ruang putih TV yang efisien. Yang utama termasuk standar IEEE 802.22 untuk Jaringan Area Regional Nirkabel (WRAN), standar IEEE 802.11af untuk Jaringan Area Lokal Nirkabel (WLAN), standar IEEE 802.15.4m untuk Jaringan Area Pribadi Nirkabel (WPAN), standar IEEE 802.19.1 untuk koeksistensi, dan standar IEEE 1900 untuk sistem dan jaringan radio akses spektrum dinamis.

IEEE 802.22: Standar IEEE 802.22 menentukan antarmuka udara dan memungkinkan teknologi CR untuk WRAN dengan mengaktifkan berbagi spektrum dengan ruang putih TV. WRAN menetapkan penggunaan saluran kosong di pita VHF dan UHF yang beroperasi dalam kisaran 54–862 MHz yang dialokasikan untuk layanan siaran TV tanpa gangguan. WRAN cocok untuk area berpenduduk sedikit yang menyediakan konektivitas broadband. Standar menentukan

antarmuka udara, termasuk MAC kognitif dan lapisan fisik. WRAN dapat mencakup radius 10–30 km dan mencapai 100 km, mendukung kecepatan data hingga 22,69 Mbps^[44]

Sistem berbasis IEEE 802.22 terdiri dari bidang data, bidang manajemen/kontrol, dan bidang kognitif. Data plane terdiri dari lapisan fisik, MAC, dan sublapisan konvergensi. Lapisan-lapisan ini dapat berkomunikasi dengan layanan satu sama lain menggunakan Service Access Points (SAPs) yang disediakan dengan antarmuka yang terdefinisi dengan baik atau kumpulan primitif. SAP ditambahkan di antara lapisan-lapisan ini untuk memungkinkan modularisasi sistem di mana komponen yang berbeda dapat dipisahkan dan/atau dari vendor yang berbeda. SAP dilengkapi dengan antarmuka yang terdefinisi dengan baik atau seperangkat primitif untuk bertukar informasi yang menyediakan tempat di mana komponen yang berbeda ini dapat berbicara satu sama lain. Data dan bidang kontrol/manajemen MAC terdiri dari tiga sublapisan termasuk sublapisan konvergensi khusus layanan, sublapisan bagian umum MAC, dan sublapisan keamanan 1. Bidang manajemen/kontrol terdiri dari Basis Informasi Manajemen (MIB) di mana SNMP (Simple Network Management Protocol) digunakan untuk berkomunikasi dengan database MIB. Bidang kognitif menjaga penginderaan spektrum dan geolokasi. Rincian pesawat ini dapat ditemukan di^[44].

IEEE 802.11af: Tujuan standar ini^[45] adalah untuk memungkinkan pengoperasian WLAN di spektrum ruang putih TV (54–790 MHz) tanpa gangguan. Ini mendefinisikan teknologi dan mekanisme untuk WSD¹³ (perangkat ruang putih) untuk berbagi ruang putih TV (TVWS) yang kurang dimanfaatkan dengan pemegang jabatan utama. Standar menentukan parameter operasi TVWS yang diperlukan, pita frekuensi, pita saluran, dan domain regulasi sehingga WSD dapat beroperasi di mana saja di dunia. Perbedaan utama antara domain regulasi adalah skala waktu di mana WSD diizinkan oleh GDB (Geolocation Database) untuk mengirim/menerima/melepaskan transmisi masing-masing di TVWS. Standar ini juga dikenal dengan nama “Super Wi-Fi” atau “White-Fi” dan menyediakan arsitektur umum yang membantu WSD untuk memenuhi beberapa domain regulasi. Lapisan fisik didasarkan pada standar IEEE 802.11ac yang mendukung MIMO dan kecepatan data puncak 462,7 Mbps dengan saluran 6 dan 7 MHz dan 568,9 Mbps dengan saluran 8 MHz. MAC menggunakan protokol CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) tradisional untuk transmisi pada media transmisi bersama.

Inisiatif IEEE P1900 dari Komite Standarisasi Jaringan Akses Spektrum Dinamis (DySPAN-SC) berfokus pada peningkatan pemanfaatan spektrum sistem dan jaringan radio akses spektrum dinamis dengan memungkinkan teknik baru akses spektrum dinamis dan koordinasi dengan teknologi nirkabel untuk koeksistensi^[46]. Komite telah menghasilkan beberapa standar melalui tujuh kelompok kerja^[47,48]. Contohnya:

- IEEE 1900.1 memberikan definisi dan menjelaskan konsep dasar manajemen spektrum dan topik terkait.
- IEEE 1900.2 memberikan pedoman untuk menganalisis potensi koeksistensi/interferensi antara sistem radio.
- Kelompok kerja IEEE 1900.3 dibongkar; namun, itu seharusnya memberikan praktik dan metode yang direkomendasikan untuk mengevaluasi standar 1900.2.

¹³ WSD menggunakan kemampuan kognitif untuk menggunakan spektrum ruang putih tanpa menyebabkan interferensi berbahaya pada layanan yang dilindungi/berlaku.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

- IEEE 1900.4 menetapkan blok bangunan arsitektur untuk memungkinkan pengambilan keputusan terdistribusi perangkat jaringan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya radio dalam jaringan nirkabel heterogen.
- Standar IEEE 1900.5 mendefinisikan satu set independen vendor arsitektur kontrol berbasis kebijakan dan persyaratan bahasa kebijakan yang sesuai untuk mengelola CR untuk aplikasi akses spektrum dinamis.
- Standar IEEE 1900.6 menetapkan antarmuka dan struktur data untuk bertukar informasi penginderaan sistem akses spektrum.
- IEEE 1900.7 mengatur antarmuka radio sistem akses spektrum TVWS dinamis untuk mendukung operasi tetap dan bergerak.

IEEE 802.15.4m: Ini adalah standar^[49] yang mendefinisikan pengoperasian low-rate WPAN (LR-WPAN) di TVWS. Untuk pelaksanaan operasi ini, tiga jenis mode lapisan fisik, yaitu Frequency Shift Keying (TVWS-FSK) PHY (fisik), Orthogonal Frequency Division Multiplexing (TVWSOFDM) PHY, dan Narrow Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing (NB-OFDM) PHY didefinisikan. Teknologi Personal Area Network (PAN) (TMCTP) TVWS Multichannel Cluster Tree digunakan untuk komunikasi yang hemat biaya dan efisien spektrum. Ini menargetkan pada aplikasi jaringan TVWS dengan kecepatan data rendah di sensor, smart grid/utility, dan jaringan IoT^[47].

IEEE 802.19.1: Tujuan dari standar ini adalah untuk memfasilitasi keluarga standar nirkabel IEEE 802 untuk menggunakan TVWS secara efisien. Ini memenuhi tujuan ini dengan menyediakan metode untuk koeksistensi antara jaringan TVBD yang berbeda atau dioperasikan secara independen (perangkat pita TV) dan TVBD yang berbeda^[50]. Standar tersebut telah menetapkan dua kelas algoritma koeksistensi, yaitu algoritma penemuan koeksistensi dan algoritma keputusan koeksistensi. Algoritme penemuan dapat digunakan untuk mendeteksi objek ruang putih (perangkat atau jaringan) yang dapat memengaruhi kinerja satu sama lain. Algoritma keputusan, di sisi lain, dapat membuat keputusan tentang saluran dan alokasi daya melalui negosiasi^[47].

5.7.3 Standar Utama Lainnya

IETF: IETF RFC 7545^[51] mendefinisikan Protokol untuk Mengakses Ruang Putih TV atau PAWS. PAWS adalah protokol yang dapat diperluas, yang dibangun di atas HTTP (Hypertext Transfer Protocol) dan TLS (Transport Layer Security). Ini digunakan oleh perangkat dengan kemampuan geolokasi untuk mendapatkan informasi spektrum yang tersedia dari database geospasial. Standar tersebut mendefinisikan perangkat TVWS master yang dapat secara langsung melakukan query database dan/atau atas nama perangkat slave untuk mendapatkan informasi spektrum yang tersedia sedangkan perangkat TVWS slave hanya dapat memperoleh informasi dari perangkat TVWS master^[47].

ETSI: Komite Teknis ETSI Reconfigurable Radio System (TC RRS) melakukan pekerjaan standarisasi Konfigurasi Ulang melalui Aplikasi Radio dan Radio Kognitif. TC telah menghasilkan dua puluh standar plus pada radio yang dapat dikonfigurasi ulang^[52]. Ini telah mendefinisikan Arsitektur Fungsional (FA) untuk Manajemen dan Kontrol RRS dan laporan khusus Saluran Percontohan Kognitif (CPC) seperti ETSI TR 102 682^[53] mendefinisikan FA sedangkan BPK dijelaskan dalam ETSI TR 102 683^[54]. FA dan CPC diuraikan dalam laporan teknis masing-masing, termasuk sejauh mana diperlukan untuk mengidentifikasi elemen arsitektur (blok dan antarmuka) dan kemungkinan implementasi untuk CPC sebagai kandidat untuk standarisasi lebih lanjut. RRS mendefinisikan CPC untuk penemuan akses radio yang

tersedia secara efisien pada lingkungan nirkabel yang heterogen. CPC adalah saluran yang meneruskan elemen informasi yang diperlukan untuk memfasilitasi pengoperasian sistem CR.

ITU-R: Laporan ITU-R SM.2152^[55], yang diterbitkan pada tahun 2009, memberikan definisi radio yang ditentukan perangkat lunak dan sistem CR. Laporan ITU-R M.2242^[56], diterbitkan pada tahun 2011, membahas aspek sistem CR khusus untuk sistem IMT. ITU-R mengeluarkan resolusi ITU-R 58-1^[57] pada tahun 2012 untuk melakukan studi tentang implementasi dan penggunaan sistem CR. Dalam persiapan^[58] untuk WRC-19 dan Radio Assembly 2019, ITU-R sedang melakukan studi lebih lanjut untuk implementasi dan penggunaan sistem CR.

5.8 Manajemen Spektrum

Dari perspektif komunikasi seluler, radio adalah teknologi khusus pada 1990-an, dan pada 2000-an, menjadi radio multi-standar dengan memasukkan teknik SDR (radio yang ditentukan perangkat lunak). Di tahun-tahun mendatang, CR dapat menjadi bagian dari jaringan. CR dianggap sebagai bentuk lanjutan atau evolusi SDR. SDR dikenal sebagai radio di mana sejumlah komponen yang secara tradisional diimplementasikan di perangkat keras malah diimplementasikan melalui perangkat lunak. CR, seperti namanya, juga merasakan lingkungannya, melacak perubahan, dan bereaksi terhadap temuannya [59].

Jaringan berbasis CR mengidentifikasi dua jenis pengguna, yaitu pengguna utama dan pengguna sekunder. Pengguna utama (pengguna berlisensi) menggunakan sistem komunikasi nirkabel tradisional dengan alokasi spektrum statis dan memiliki prioritas dalam pemanfaatan spektrum dalam pita. Pengguna Sekunder (SU) dilengkapi dengan CR dan memanfaatkan peluang spektrum untuk mempertahankan aktivitas komunikasi mereka tanpa mengganggu transmisi pengguna utama (PU)^[60]. Ini membutuhkan operasi spektrum sadar yang dapat terdiri dari empat langkah, yaitu penginderaan spektrum, keputusan spektrum, pembagian spektrum, dan mobilitas spektrum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.5^[43,61].

5.8.1 Penginderaan Spektrum

Fungsi penginderaan spektrum melibatkan penyelidikan spektrum, menangkap informasi, dan menemukan bagian yang tidak digunakan untuk berbagi^[43,61,62]. Skema penginderaan spektrum dapat diklasifikasikan sebagai pita sempit atau pita lebar^[63].

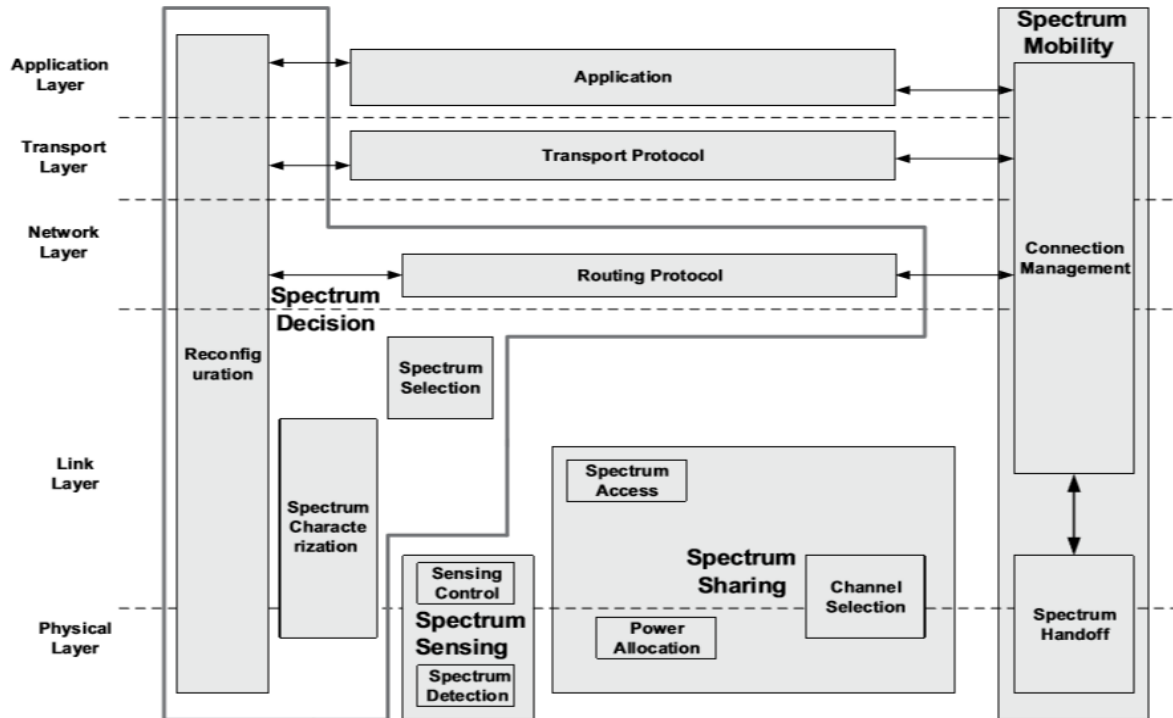
5.8.2 Penginderaan Spektrum Pita Sempit

Penginderaan pita sempit menyiratkan bahwa rentang frekuensi cukup sempit sehingga respons frekuensi saluran dapat dianggap datar^[64]. Deteksi filter yang cocok, deteksi energi, dan deteksi fitur cyclostationary adalah tiga metode utama yang termasuk dalam kategori ini^[63].

Deteksi Filter yang Cocok tergantung pada pengetahuan sebelumnya tentang karakteristik PU. Namun, jika itu tidak akurat, maka kinerja filternya tidak memuaskan. Hal ini membutuhkan CR untuk dilengkapi dengan perangkat sinkronisasi dan pengaturan waktu.

Deteksi Energi menggunakan detektor energi untuk mendeteksi PU berdasarkan energi dari sinyal yang diterima (misalnya, derau Gaussian). Detektor energi dapat dengan mudah diimplementasikan; namun, ia tidak dapat membedakan jenis sinyal. Dengan demikian, detektor energi sering menghasilkan deteksi palsu dan kinerjanya juga rentan terhadap ketidakpastian dalam daya kebisingan.

Skema Deteksi Fitur Cyclostationary menentukan keberadaan sinyal PU dengan memisahkan sinyal termodulasi dari kebisingan aditif^[65]. Perbedaan ini disebabkan oleh fakta bahwa kebisingan tidak memiliki korelasi sementara sinyal termodulasi adalah siklostasioner. Keuntungan utama dari skema deteksi khusus ini adalah kekokohnya terhadap ketidakpastian daya kebisingan. Ini adalah skema yang efektif dan kuat; namun, komputasinya rumit dan membutuhkan waktu penginderaan yang sangat lama.



Gambar 5.5 Model referensi untuk manajemen spektrum dalam WRAN.

5.8.3 Penginderaan Spektrum Pita Lebar

Penginderaan spektrum pita lebar dimaksudkan untuk menemukan lebih banyak peluang spektral pada rentang frekuensi yang luas. Teknik penginderaan kunci dalam kategori ini adalah deteksi kooperatif.

Deteksi Kooperatif mengacu pada metode penginderaan spektrum di mana informasi dari beberapa pengguna CR digabungkan untuk mendeteksi PU. Deteksi kooperatif dapat diimplementasikan baik secara terpusat atau terdistribusi^[66]. Dalam metode terpusat, unit pusat (misalnya, base station berbasis CR) menerima sinyal dari pengguna CR. Setelah menerima, kemudian menggabungkan sinyal-sinyal ini, mendeteksi lubang spektrum, dan mengirimkan informasi ini kembali ke pengguna CR. Di sisi lain, solusi terdistribusi beroperasi tanpa unit terpusat tetapi memerlukan pertukaran pengamatan di antara pengguna CR untuk mendeteksi PU. Deteksi dalam mode terdistribusi dapat dilakukan dengan memanfaatkan kriteria lingkungan. Meskipun penginderaan kooperatif meningkatkan akurasi deteksi, itu meningkatkan pensinyalan, menghasilkan latensi yang lebih tinggi dalam mengumpulkan informasi ini karena pertikaian saluran dan transmisi ulang paket. Selanjutnya, setiap pengguna yang bekerja sama mungkin memiliki akurasi penginderaan yang berbeda menurut lokasi. Dengan demikian, jaringan CR mungkin perlu mempertimbangkan faktor-faktor ini untuk menemukan titik operasi yang optimal.

5.8.4 Keputusan Spektrum

Setelah spektrum terdeteksi, langkah selanjutnya adalah mencari saluran terbaik yang tersedia untuk pengguna CR. Pemilihan spektrum melibatkan sejumlah langkah yang dijelaskan secara singkat di bagian ini^[43,61].

Karakterisasi/Analisis Spektrum: Analisis spektrum harus dilakukan untuk karakterisasi pita spektrum yang berbeda untuk mendapatkan saluran terbaik yang sesuai dengan kebutuhan pengguna CR. Karakterisasi spektrum dapat melibatkan deteksi/penentuan parameter seperti tingkat interferensi, tingkat kesalahan saluran, path-loss, kekuatan sinyal yang diterima, jumlah pengguna yang menggunakan spektrum, dan sebagainya. Kapasitas saluran merupakan salah satu faktor terpenting untuk karakterisasi spektrum. Beberapa metode^[67-69] termasuk teorema Shannon-Hartley yang terkenal dapat digunakan untuk memperkirakan kapasitas saluran.

Pemilihan Fitur Komunikasi: Setelah pemilihan saluran, pengguna CR kemudian secara adaptif memilih jenis modulasi yang sesuai, skema kontrol kesalahan, dan protokol lapisan atas untuk memenuhi persyaratan aplikasi. Karakteristik komunikasi ini harus dapat beradaptasi untuk memungkinkan perubahan karakteristik spektrum.

5.8.5 Pembagian Spektrum

Spektrum diharapkan dapat dibagi antara pengguna primer dan sekunder (kognitif) di jaringan 5G. Tujuan dasar di balik berbagi spektrum adalah bahwa hal itu tidak akan menyebabkan gangguan pada PU sambil mempertahankan QoS untuk pengguna kognitif. Tugas dilakukan dengan mengoordinasikan akses saluran serta secara adaptif mengalokasikan sumber daya komunikasi. Koordinasi ini diperlukan untuk mencegah beberapa pengguna bertabrakan di bagian spektrum yang tumpang tindih.

Berbagai pendekatan telah dieksploitasi untuk menentukan sumber komunikasi untuk PU dan CR. Setiap pengguna CR memiliki tujuan untuk menggunakan sumber daya spektrum secara maksimal. Namun, pada saat yang sama, mereka juga memiliki kepentingan yang bersaing untuk memaksimalkan bagian mereka sendiri dari sumber daya spektrum. Dengan demikian, aktivitas satu pengguna CR dapat berdampak pada aktivitas pengguna lainnya. Teori permainan menyediakan skema pembagian spektrum terdistribusi yang efektif dengan menggambarkan konflik dan kerjasama di antara pengguna CR, dan karenanya memungkinkan setiap pengguna CR untuk secara rasional memutuskan tindakan terbaik^[61].

5.8.6 Mobilitas Spektrum

Kebutuhan mobilitas spektrum muncul ketika kondisi saluran saat ini menjadi lebih buruk bagi pengguna CR atau PU muncul di daerah tersebut. Aktivitas ini mengarah ke jenis handoff baru dalam jaringan berbasis CR yang disebut handoff spektrum di mana pengguna CR mentransfer koneksi mereka ke spektrum yang tidak digunakan. Protokol manajemen mobilitas diperlukan untuk mempelajari terlebih dahulu tentang durasi handoff spektrum sehingga transisi ini dibuat dengan cara efektif. Setelah protokol mengetahui tentang latensi, sangat penting untuk meminimalkan penurunan kinerja komunikasi yang sedang berlangsung dari pengguna CR.

5.9 Aspek Regulator

Berbagi spektrum sangat penting untuk keberhasilan CR dan untuk 5G. Pembagian spektrum dikategorikan sebagai penggunaan pita frekuensi secara kolektif oleh dua pihak atau lebih di wilayah geografis tertentu. Berbagi dapat terjadi di pita berlisensi dan bebas lisensi [70]. Nilai CR akan tergantung pada bagaimana pembagian spektrum dirancang secara teknis dan

ekonomis. Untuk PU, itu berarti bahwa lisensi mereka memungkinkan berbagi dengan SU. Selama berbagi, PR memungkinkan SU untuk menggunakan spektrum yang tidak digunakan untuk sementara.

Untuk spektrum yang saat ini dilisensikan kepada PU melalui lelang, SU dapat memperoleh spektrum baik secara statis maupun oportunistik. Selama mode operasi statis, SU mungkin telah menandatangani perjanjian dengan PU dengan jaminan akses untuk wilayah geografis, kerangka waktu, dan rentang frekuensi yang disepakati. Dalam mode oportunistik, SU dapat bersaing untuk saluran atas dasar noninterferensi tetapi tanpa kesepakatan formal dengan pemegang jabatan^[71].

5.9.1 Contoh: Keputusan FCC 3,5 GHz

Berbagi spektrum antara aplikasi pemerintah, seperti radar atau satelit, dan jaringan seluler komersial tampaknya efisien, terutama jika penggunaan pemerintah terbatas pada area tertentu atau hanya sebagian waktu^[14]. Dalam hal ini, salah satu upaya berbagi spektrum pertama dilakukan oleh FCC pada tahun 2016, di mana FCC mengizinkan penggunaan 150 MHz di pita 3,5 GHz untuk pemain lama dan SU^[72,73]. Para pemain lama, Departemen Pertahanan AS (DoD) dan penyedia layanan satelit tetap, berbagi spektrum dengan pengguna komersial seperti operator seluler. Layanan tersebut terutama akan menjadi layanan tanpa lisensi atau 'lisensi ringan', dan dengan pendekatan ini, operator tidak akan diharuskan untuk membeli dan memiliki spektrum secara permanen. FCC membayangkan rencana tiga tingkat atau kerangka kerja untuk pita 3,5 GHz yang mencakup tingkat akses incumbent, tingkat akses prioritas (memperoleh spektrum hingga tiga tahun melalui proses lelang), dan tingkat akses resmi umum (setiap pengguna dengan izin resmi). perangkat 3,5 GHz). Ketiga tingkatan tersebut akan dikoordinasikan melalui Sistem Akses Spektrum dinamis (SAS) yang merupakan database. FCC sejauh ini telah menyetujui tujuh Administrator SAS, yaitu Amdocs, Inc.; Comsearch, CTIA (Asosiasi Telekomunikasi Seluler dan Internet)—The Wireless Association, Federated Wireless, Google, Inc., Key Bridge, dan Sony Electronics, Inc. Keberhasilan/kegagalan akhir dari upaya ini belum ditentukan.

5.10 Sentralisasi Besar-besaran RAN

Jaringan seluler saat ini terutama mengikuti arsitektur RAN terdistribusi di mana satu RRU (unit radio jarak jauh) terhubung ke BBU (unit baseband) tunggal dan spesifik. RRU (terletak di tiang menara) terhubung ke BBU (diletakkan di dasar menara) dengan sambungan kabel point-topoint berbasis fiber atau coax. Konfigurasi RRU-BBU satu-ke-satu ini tidak efisien secara finansial maupun energi.

5.11 Ran Terpusat/Cloud RAN

Pendekatan RAN terpusat dan Cloud RAN telah mengubah model konfigurasi statis ini. Istilah C-RAN kemungkinan pertama kali diperkenalkan ke dunia oleh China Mobile selama 2010 dan mengacu pada hubungan nonstatis antara BBU dan RRU. Nama tersebut berasal dari empat "C", yaitu Centralized processing, Clean (Green), Collaborative radio, dan Cloud Radio Access Network^[76].

Terutama, ada dua pendekatan untuk membagi BTS, fungsi antara RRU dan BBU dalam arsitektur C-RAN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7. Dengan sentralisasi penuh, fungsi pita dasar (yaitu, lapisan 1), lapisan 2, dan lapisan 3 ditempatkan di kumpulan BBU. Dalam sentralisasi parsial, RRU mengintegrasikan fungsi layer 1/radio, sementara semua fungsi layer

yang lebih tinggi lainnya masih dalam BBU. Kedua pendekatan memiliki pro dan kontra. Meskipun teknik sentralisasi penuh akan memudahkan proses peningkatan jaringan, namun memerlukan bandwidth transmisi yang sangat tinggi antara BBU dan RRU. Pendekatan sentralisasi parsial membutuhkan bandwidth transmisi tertentu yang lebih rendah antar unit, tetapi memberikan fleksibilitas yang lebih sedikit untuk peningkatan^[76-78].

Beberapa elemen kunci dan fungsi dari arsitektur ini adalah sebagai berikut:

5.11.1 Transportasi

Konektivitas antara BBU dan RRU di C-RAN disediakan melalui fronthaul yang sebagian besar didukung melalui kabel serat optik, tetapi dalam beberapa kasus, tautan nirkabel juga digunakan. Tautan nirkabel sangat penting karena sangat sulit untuk memperluas serat ke setiap situs RRU. Penting untuk dicatat bahwa karena jarak untuk BBU dan RRU mencapai 10 kilometer, campuran kabel (serat, Ethernet) dan teknologi nirkabel mungkin harus digunakan. Selain itu, dalam beberapa kasus, lokasi repeater dapat ditempatkan di antara lokasi RRU dan kumpulan BBU untuk mengatasi tantangan medan, hak jalan, dan keuangan. Di fronthaul, BBU dan RRU berkomunikasi menggunakan sinyal RF analog, sedangkan backhaul yang menghubungkan base transceiver station (BTS) ke Radio Controller di 3G dan ke jaringan inti di 4G terutama berbasis Ethernet/IP. Hal ini menempatkan persyaratan ketat pada fronthaul dalam hal kapasitas dan latensi. Fronthaul perlu mendukung kapasitas tinggi dan latensi rendah yang mengamanatkan operator untuk memanfaatkan serat ke tingkat terdalam di segmen jaringan ini. Multiplexing serat gelap dan divisi gelombang cocok untuk konektivitas RRU-BBU, tetapi biaya merupakan faktor penghalang, setidaknya dalam kasus yang terakhir. Carrier Ethernet juga dapat diterapkan dari RRU menuju pool BBU. Namun, jika Ethernet dipilih sebagai metode transport untuk C-RAN, gateway Ethernet CPRI (common protocol radio interface) akan diperlukan. Gateway ini memetakan data CPRI ke paket Ethernet, dekat atau pada antarmuka RRU menuju kumpulan BBU^[78].

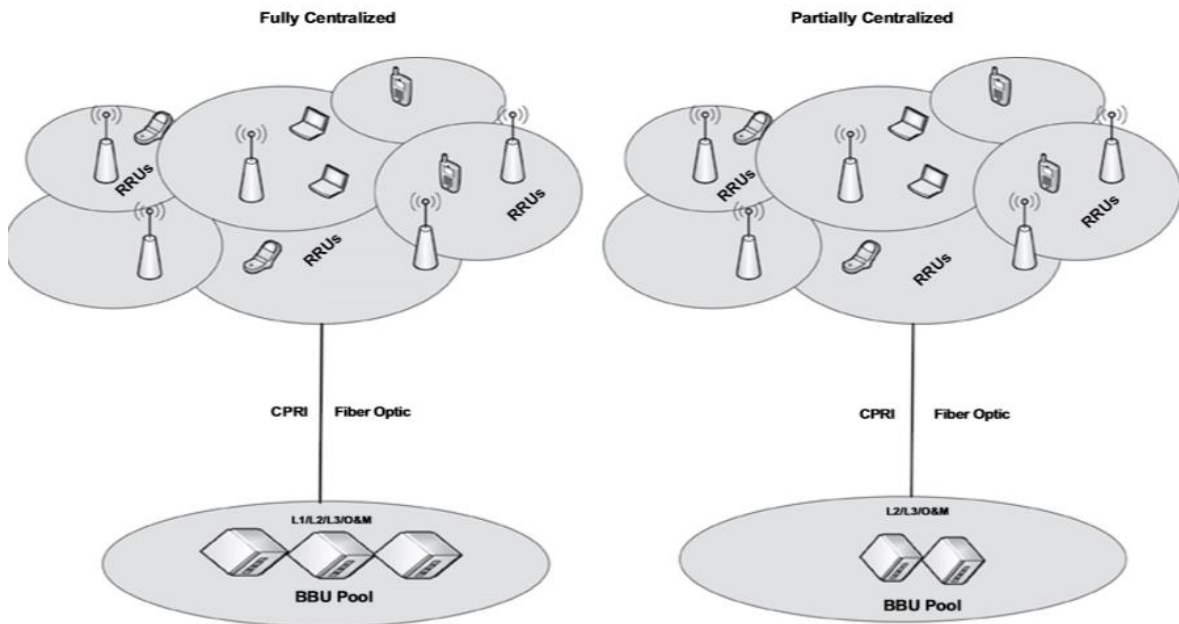
5.11.2 Antarmuka / Interface

Hari ini, C-RAN terutama didukung oleh CPRI (antarmuka radio protokol umum). Rilis CPRI 7.0 saat ini yang diterbitkan pada Oktober 2015, menetapkan opsi bit rate sepuluh baris dengan terendah pada 614,4 Mbps dan tertinggi pada 24,3 Gbps. Sangat penting bagi BBU dan RRU untuk mendukung setidaknya satu bit rate tersebut^[79]. Protokol CPRI sensitif terhadap latensi dan kinerja sinkronisasi sistem transmisi, sehingga dalam beberapa kasus, dibatasi pada jarak sekitar 40 km^[77,78,80]. Antarmuka lain, seperti OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative) dan ORI (Open Radio equipment Interface) juga digunakan/ditentukan. Dengan demikian, protokol yang ada mungkin perlu direvisi untuk memungkinkan transmisi volume tinggi jarak jauh^[78]. China Mobile saat ini sedang mengembangkan antarmuka baru, yaitu Next Generation Fronthaul Interfaces (NGFI), untuk mengatasi efisiensi transmisi yang rendah dan skalabilitas antarmuka CPRI/OBSAI^[81].

5.11.3 Virtualisasi

Penempatan sejumlah BBU di kumpulan terpusat sambil mendistribusikan RRU sesuai dengan strategi RF yang ditargetkan berarti bahwa operator menggunakan teknologi virtualisasi yang memetakan sinyal radio dari/ke satu RRU ke entitas pemrosesan BBU mana pun di kumpulan. Fungsi BBU dapat diwujudkan melalui perangkat lunak yang membuat BTS virtual tersebut. Namun, virtualisasi penuh lebih merupakan solusi jangka panjang yang memerlukan

penggunaan BBU tervirtualisasi yang berjalan di server komersial dalam platform NFV (Virtualisasi Fungsi Jaringan)^[77,82].



Gambar 5.7 Rancangan CRAN

5.12 Keuntungan Utama

Manfaat utama C-RAN adalah sebagai berikut^[76,82]:

- **Infrastruktur Hemat Energi:** C-RAN adalah konsep ramah lingkungan dan hemat energi. Kumpulan BBU di C-RAN adalah sumber daya bersama, sehingga konsumsi daya yang rendah dan penyeimbangan beban yang lebih baik dapat dicapai dengan mengalokasikan kemampuan pemrosesan secara dinamis selama periode 24 jam. Pada malam hari, beberapa BBU dapat dimatikan atau dinyalakan dengan daya rendah untuk menghemat energi tanpa mempengaruhi komitmen layanan 24/7.
- **Penghematan Biaya:** Sentralisasi memungkinkan penempatan kumpulan BBU di beberapa lokasi yang akan menghemat biaya O&M (operasi dan pemeliharaan). Dengan C-RAN, peralatan transmisi juga dapat dibagi, sehingga mengurangi CAPEX (Capital Expenditure) serta OPEX (Operational Expenditure) sampai batas tertentu.
- **Pemanfaatan Spektrum yang Lebih Baik:** C-RAN memungkinkan implementasi pemrosesan dan penjadwalan bersama untuk mengurangi interferensi antar sel yang meningkatkan efisiensi spektral. Misalnya, teknik CoMP (Cooperative Multi-point Processing) LTE-Advanced, yang mengurangi interferensi antarsel^[83], dapat diimplementasikan di bawah infrastruktur C-RAN.
- **Model Bisnis Baru:** Cloud RAN dapat membawa serta meningkatkan model bisnis yang sudah ada seperti sistem penyewaan sumber daya base station (BS), berbagi infrastruktur seluler, pengumpulan kekayaan intelektual (patent pooling), dan sebagainya.

5.13 Tantangan Utama

Sejumlah tantangan terkait dengan virtualisasi, termasuk implementasi algoritma pemrosesan baseband waktu nyata dan alokasi kapasitas pemrosesan dinamis untuk menangani beban sel

dinamis di C-RAN^[76]. Penggabungan BBU menjadi lokasi pusat mengarah ke masalah keamanan dan membutuhkan solusi pemulihan bencana yang efektif.

C-RAN membutuhkan sistem transportasi yang kuat untuk mengatasi bandwidth tinggi dan jitter yang ketat serta persyaratan latensi 4G dan 5G. Penting untuk disebutkan bahwa agregasi operator 4 × 4 MIMO telah diterapkan dan fokusnya adalah pada 8 × 8 MIMO, yang berarti lebih banyak kapasitas dan antena. CPRI atau beberapa antarmuka lain mungkin perlu mendukung bandwidth tinggi dan latensi rendah untuk memenuhi tuntutan tersebut.

5.14 Status Pasar / Forecast

Sebelum munculnya 5G, LTE dan LTE-Advanced adalah kandidat sempurna untuk C-RAN. Fitur LTE/4G seperti CoMP dan eICIC (Enhanced LTE Inter Cell Interference Coordination) dapat didukung dengan C-RAN. Fitur-fitur ini sangat difasilitasi karena pemrosesan sinyal dari banyak sel dapat dilakukan dalam satu kumpulan BBU, yang pada gilirannya mengurangi penundaan transmisi. CoMP membuat penggunaan sumber daya radio secara efisien dan memberikan keuntungan pemrosesan karena pengurangan lalu lintas X2 (antarmuka eNodeB ke eNodeB) (fitur yang melekat pada C-RAN).

Perpaduan antara kabel (fiber) dan nirkabel (radio gelombang mikro berbasis 70/80 GHz berkapasitas tinggi) adalah kunci keberhasilan C-RAN. Dari segi teknis dan bisnis, sulit untuk menghubungkan setiap RRU (situs sel makro dan kecil) dengan serat. Dengan demikian, tautan nirkabel akan menjadi penting untuk banyak jaringan di seluruh dunia. Orange dan beberapa operator lain sedang menguji coba solusi berbasis e-band untuk penerapan RRU tipe sel kecil.

Sampai hari ini, fronthaul tetap menjadi ceruk pasar dan belum sepenuhnya lepas landas. Pasar fronthaul awal didorong oleh Jepang dan Korea Selatan dan berkembang ke China, Hong Kong, dan AS. Meskipun China Mobile memelopori konsep C-RAN, dunia belum melihat banyak penerapan dari operator hingga saat ini. Menurut IHS Markit Ltd.^[84], pada tahun 2015, operator China berhasil meyakinkan pemerintah mereka bahwa C-RAN adalah cara yang tepat untuk mencapai efisiensi energi dan memiliki jejak hijau.

Menurut IHS, pendapatan arsitektur C-RAN di seluruh dunia diperkirakan mencapai Rp120 triliun pada tahun 2020 dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) 19,8% dari 2015 hingga 2020. Hal ini terutama didorong oleh ekspansi RAN di Barat dan awal Peluncuran 5G di Jepang dan Korea Selatan^[85].

5.15 Komunikasi Kendaraan

Komunikasi kendaraan (VC) diharapkan dapat meningkatkan keselamatan jalan, meningkatkan efisiensi arus lalu lintas, mengurangi dampak lingkungan, dan memberikan informasi/layanan tambahan kepada wisatawan di jalan. Dalam waktu yang tidak terlalu lama, kendaraan akan dilengkapi dengan komputasi, komunikasi, dan kemampuan penginderaan yang diperlukan dan antarmuka pengguna untuk memungkinkan mengemudi otomatis.

Penelitian tentang komunikasi kendaraan dimulai hampir dua dekade lalu dan melibatkan industri otomotif, sektor telekomunikasi, pemerintah AS, dan lainnya. Upaya penelitian menghasilkan pengembangan teknologi Dedicated Short Range Communications (DSRC). DSRC adalah teknologi incumbent yang didefinisikan dalam standar IEEE 1609 dan 802.11p. Ini mendukung mode komunikasi V2V (Vehicle-to-Vehicle) dan V2I (Vehicle-to-Infrastructure), terutama berfokus pada memungkinkan aplikasi keselamatan kendaraan^[86-88].

Bagian selanjutnya akan melihat evolusinya dari V2V/V2I sederhana ke bentuk, arsitektur, tantangan, dan aspek regulasi V2X yang lebih bermakna.

5.16 Dari V2V ke V2X

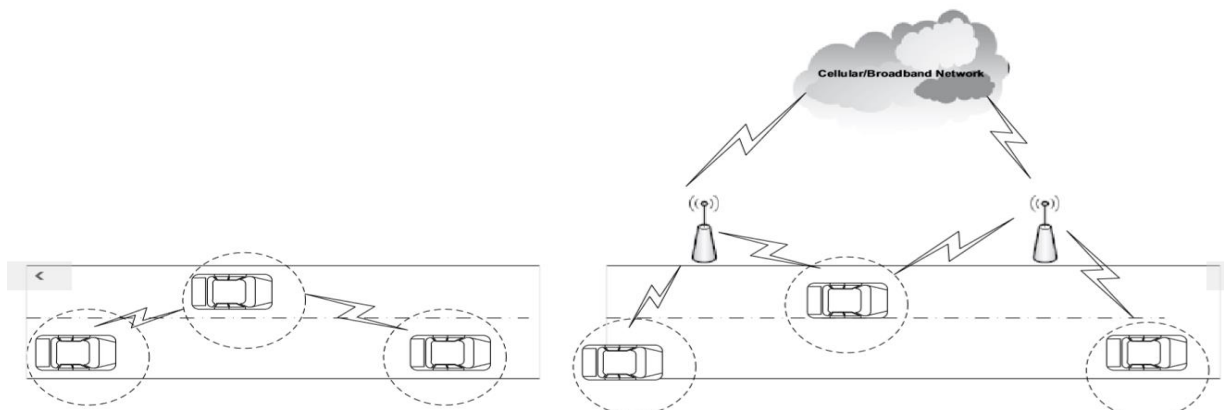
Sistem transportasi cerdas (ITS) mengacu pada layanan untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas dan meningkatkan efisiensi. Contohnya adalah komunikasi kendaraan-ke-kendaraan untuk keselamatan, misalnya untuk mengirimkan pesan ke kendaraan di belakang saat mobil di depan mogok. Contoh lain adalah peleton di mana beberapa truk melaju sangat dekat satu sama lain dan mengikuti truk pertama di peleton, sehingga menghemat bahan bakar dan mengurangi emisi CO₂. Komunikasi antara kendaraan dan infrastruktur juga berguna, misalnya untuk mendapatkan informasi tentang situasi lalu lintas, pembaruan cuaca, dan rute alternatif jika terjadi kemacetan.

Pada tahap awal pengembangan dan hingga masa lalu, V2V dan V2I ^[89-93] dibayangkan sebagai titik tertinggi komunikasi kendaraan (Gambar 5.8):

- V2V: Menggunakan komunikasi V2V, sebuah kendaraan dapat mendeteksi posisi dan pergerakan kendaraan lain untuk jarak dekat. Kendaraan berkomunikasi satu sama lain untuk mendukung aplikasi seperti bantuan pengemudi kooperatif, peringatan kendaraan lambat, dan sebagainya.
- V2I: V2I memungkinkan kendaraan untuk berkomunikasi dengan infrastruktur tetap di sepanjang sisi jalan untuk menyediakan layanan komunikasi dan informasi pengguna seperti akses Internet, iklan seluler, dan sebagainya.

Seiring berkembangnya teknologi, begitu pula layanan yang berjalan di atas teknologi tersebut. Demikian pula, komunikasi kendaraan berkembang dari V2V/V2I ke V2X untuk memenuhi tuntutan industri otomotif dan memanfaatkan perkembangan LTE/5G. V2X mencakup C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) yang merupakan komponen penting dari mobil yang terhubung dan penggerak otomatis masa depan. V2X terdiri dari empat bentuk, yaitu V2V, V2I, V2N (Vehicle-to-Network), dan V2P (Vehicle-to-Pedestrian) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.9^[94].

Komunikasi V2V dan V2P terutama didasarkan pada kemampuan siaran antara kendaraan dan kendaraan dan pengguna jalan. Kedua bentuk ini bertukar informasi seperti lokasi, kecepatan, dan arah untuk menghindari kecelakaan dan kecelakaan. V2I dan V2N di sisi lain juga melibatkan infrastruktur/jaringan pengiriman pesan ke kendaraan. Komunikasi V2I adalah antara kendaraan dan unit pinggir jalan (RSU) dan antara kendaraan dan perangkat kontrol lalu lintas terdekat. Transmisi V2N adalah antara kendaraan dan server aplikasi melalui jaringan seluler seperti LTE.



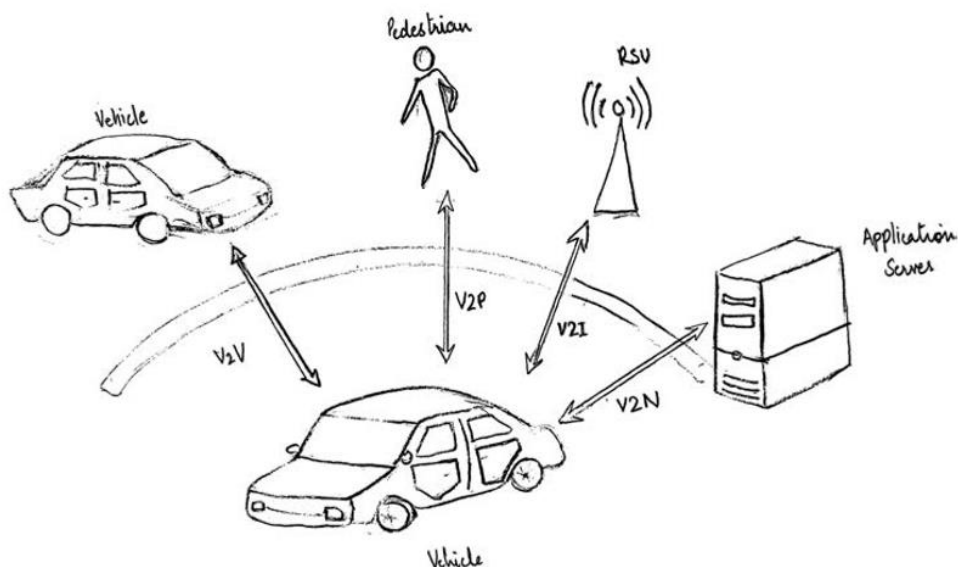
Gambar 5.8 Komunikasi V2V (Vehicle to Vehicle) sebelah kiri dan Komunikasi V2I (Vehicle to Infrastructure) sebelah kanan

Seluler V2X atau C-V2X adalah istilah umum untuk layanan V2X yang ditentukan 3GPP^[86,96]. Awalnya didefinisikan sebagai V2X berbasis LTE, sekarang juga mencakup teknologi 5G yang akan datang. Teknologi seluler menghadirkan cakupan yang luas di daerah pedesaan, pinggiran kota, dan perkotaan, memberikan layanan V2X pasar yang sangat besar dan dapat diserap. Ini secara langsung akan menguntungkan pengemudi dan penumpang dengan memiliki perjalanan yang lebih aman dan menyenangkan dan operator dengan peningkatan penggunaan jaringan seluler bersama dengan keuntungan moneter^[96,97].

C-V2X berbasis 3GPP menawarkan akses radio yang lebih tahan lama daripada IEEE 802.11p karena penggunaan teknologi seluler di seluruh dunia dan jalur jangka panjang yang tahan lama. Itu juga dapat memanfaatkan SAE (Society of Automotive Engineers), ETIS, ISO (Organisasi Internasional untuk Standardisasi), dan standar lapisan/transportasi atas lainnya yang telah ditentukan dan diuji oleh sektor otomotif dan telekomunikasi. Jalur evolusi dari V2X berbasis LTE menuju V2X berbasis 5G sedang berkembang. Sementara itu, LTE akan memberikan layanan C-V2X dan begitu 5G tersedia, V2X akan memiliki lebih banyak kemampuan dan dapat menawarkan layanan tambahan^[86,98].

C-V2X mendefinisikan dua mode transmisi yang saling melengkapi, yaitu komunikasi langsung dan komunikasi berbasis jaringan^[86,99].

- Komunikasi langsung tidak bergantung pada jaringan dan menggunakan antarmuka PC5 (didefinisikan sebagai tautan samping pada lapisan fisik, antara dua pengguna/perangkat) untuk menangani pasar V2V, V2I, dan V2P. Antarmuka PC5 ditentukan untuk fitur ProSe (layanan kedekatan) 3GPP Release-12 yang memungkinkan komunikasi langsung antar perangkat dalam jangkauan di luar jaringan. Mode ini beroperasi di pita Intelligent Transport Systems (ITS) (mis., ITS 5,9 GHz).
- Komunikasi berbasis jaringan mengandalkan teknologi seluler seperti LTE atau di masa depan pada 5G untuk mendukung pasar V2N. Ini menggunakan antarmuka LTE Uu (antara eNodeB dan pengguna) untuk berkomunikasi antara eNodeB dan kendaraan. Ini beroperasi dalam spektrum berlisensi mobile broadband tradisional.



Gambar 5.9 V2X. (Dari 3GPP TS 22.185 (V14.3.0) 2017. Persyaratan Layanan untuk Layanan V2X; Tahap 1. Spesifikasi Teknis (Rilis 14), Layanan Grup Spesifikasi Teknis dan Aspek Sistem, 3GPP, Maret^[95].)

5.16.1 Antena

Pekerjaan pada antena dalam rilis 15 mencakup komunikasi melalui drone yang bertindak sebagai relai untuk menyediakan jangkauan seluler di area yang tidak tertutup, tetapi juga remote control drone untuk berbagai aplikasi industri dan komersial. Karena kondisi propagasi antara darat dan drone udara berbeda dari pada jaringan terestrial, model saluran baru dikembangkan sebagai bagian dari rilis 15. Situasi interferensi untuk drone berbeda dari untuk perangkat di grup karena jumlah yang lebih besar stasiun pangkalan yang terlihat oleh drone, menyerukan teknik mitigasi interferensi seperti beamforming, serta peningkatan pada mekanisme kontrol daya.

5.16.2 Port Antena

Transmisi multiantena downlink adalah teknologi utama RN. Sinyal yang ditransmisikan dari antena yang berbeda atau sinyal yang berbeda, dan untuk penerima yang tidak diketahui, precoder multiantena, akan mengalami "saluran radio" yang berbeda bahkan jika set antena terletak di lokasi yang sama.¹⁴

Secara umum, penting bagi perangkat untuk memahami apa yang dapat diasumsikan dalam hal hubungan antara saluran radio yang dialami oleh transmisi downlink yang berbeda. Ini, misalnya, penting agar perangkat dapat memahami sinyal referensi apa yang harus digunakan untuk estimasi saluran untuk transmisi downlink tertentu. Penting juga agar perangkat dapat menentukan informasi status saluran yang relevan, misalnya, untuk tujuan penjadwalan dan adaptasi tautan.

Untuk alasan ini, konsep port antena digunakan dalam NR, mengikuti prinsip yang sama seperti pada LTE. Port antena didefinisikan sedemikian rupa sehingga saluran di mana simbol pada port antena disampaikan dapat disimpulkan dari saluran di mana simbol lain pada port antena yang sama disampaikan. Dinyatakan secara berbeda, setiap transmisi downlink individu dilakukan dari port antena tertentu, yang identitasnya diketahui oleh perangkat. Selanjutnya, perangkat dapat mengasumsikan bahwa dua sinyal yang ditransmisikan mengalami saluran radio yang sama jika dan hanya jika ditransmisikan dari port antena yang sama.¹⁵

Dalam praktiknya, setiap port antena, setidaknya untuk downlink, dapat dilihat sebagai sinyal referensi tertentu. Penerima perangkat kemudian dapat mengasumsikan bahwa sinyal referensi ini dapat digunakan untuk memperkirakan saluran yang sesuai dengan port antena tertentu. Sinyal referensi juga dapat digunakan oleh perangkat untuk memperoleh informasi status saluran terperinci yang terkait dengan port antena.

Kumpulan port antena yang didefinisikan dalam NR diuraikan dalam Tabel 7.2. Seperti yang terlihat pada tabel, ada struktur tertentu dalam penomoran port antena sedemikian rupa sehingga port antena untuk tujuan yang berbeda memiliki nomor dalam rentang yang berbeda. Misalnya, port antena downlink yang dimulai dengan 1000 digunakan untuk PDSCH. Lapisan transmisi yang berbeda untuk PDSCH dapat menggunakan port antena dalam seri ini, misalnya

¹⁴ Precoder sisi pemancar yang tidak diketahui perlu dilihat sebagai bagian dari saluran radio secara keseluruhan.

¹⁵ Untuk port antena tertentu, lebih khusus lagi yang sesuai dengan apa yang disebut sinyal referensi demodulasi, asumsi saluran radio yang sama hanya valid dalam kesempatan penjadwalan tertentu.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

1000 dan 1001 untuk transmisi PDSCH dua lapis. Port antena yang berbeda dan penggunaannya akan dibahas lebih rinci dalam hubungannya dengan fitur masing-masing.

Harus dipahami bahwa port antena adalah konsep abstrak yang tidak selalu sesuai dengan antena fisik tertentu:

- Dua sinyal berbeda dapat ditransmisikan dengan cara yang sama dari beberapa antena fisik. Penerima perangkat kemudian akan melihat dua sinyal sebagai propagasi melalui saluran tunggal yang sesuai dengan "jumlah" saluran dari antena yang berbeda dan transmisi keseluruhan dapat dilihat sebagai transmisi dari port antena tunggal yang sama untuk dua sinyal. .
- Dua sinyal dapat ditransmisikan dari set antena yang sama tetapi dengan precoder sisi pemancar antena yang berbeda, untuk penerima tidak diketahui. Penerima harus melihat precoder antena yang tidak diketahui sebagai bagian dari saluran keseluruhan yang menyiratkan bahwa dua sinyal akan muncul sebagai telah dikirim dari dua port antena yang berbeda. Perlu dicatat bahwa jika precoder antena dari dua transmisi diketahui sama, transmisi dapat dianggap berasal dari port antena yang sama. Hal yang sama akan terjadi jika precoder diketahui oleh penerima karena, dalam hal ini, precoder tidak perlu dilihat sebagai bagian dari saluran radio.

Yang terakhir dari dua aspek ini memotivasi pengenalan kerangka QCL seperti yang dibahas di bagian berikutnya.

Tabel 5.2 Port Antena di RN

Antenna Port	Uplink	Downlink
0-series	PUSCH and associated DM-RS	–
1000-series	SRS, precoded PUSCH	PDSCH
2000-series	PUCCH	PDCCH
3000-series	–	CSI-RS
4000-series	PRACH	SS block

5.17 Standar Utama

IEEE 802.11p^[100] adalah amandemen yang disetujui untuk standar IEEE 802.11 dan menambahkan sistem komunikasi kendaraan, yaitu, Akses Nirkabel di Lingkungan Kendaraan (WAVE). Ini mendefinisikan peningkatan ke IEEE 802.11 yang diperlukan untuk mendukung aplikasi ITS. DSRC, yang didefinisikan dalam keluarga standar IEEE 802.11p dan IEEE 1609 untuk WAVE memungkinkan pertukaran data berkecepatan tinggi antara kendaraan dan antara kendaraan dan infrastruktur pinggir jalan menggunakan pita ITS berlisensi 5,9 GHz (5,855–5,925 GHz).

Standar IEEE 1609^[101] mendefinisikan arsitektur, protokol keamanan, fungsi manajemen, dan satu set standar layanan dan antarmuka untuk mengaktifkan komunikasi V2V dan V2I. Ini menyediakan dua opsi, yaitu pesan singkat WAVE dan IPv6 (Internet Protocol versi 6) untuk komunikasi antar kendaraan dan antara kendaraan dan unit pinggir jalan. Aplikasi yang memanfaatkan standar ini bersama dengan radio 5,9 GHz dapat memberikan layanan kepada pengemudi, operator lalu lintas, dan operator RSU^[88].

Tumpukan protokol DSRC didasarkan pada standar IEEE 1609 dan IEEE 802.11p. Yang terakhir menyediakan lapisan fisik dan MAC sedangkan lapisan yang lebih tinggi ditentukan oleh yang

pertama. Beberapa fungsi (pesan dan persyaratan kinerja) di lapisan yang lebih tinggi juga didefinisikan oleh SAE Internastional^[102]. Komunikasi V2V terutama mengandalkan ringan WAVE Short Message Protocol (WSMP) sementara TCP/IP digunakan dalam mode V2I dan V2N^[96].

Karena LTE adalah teknologi radio yang tangguh, LTE dapat menawarkan pengalaman dan nuansa V2X yang lebih baik daripada beberapa solusi V2X yang ada. LTE menggunakan mekanisme keamanan IEEE 1602.9 yang ada, pesan khusus SAE J2735 V2X, teknologi transport ITU, dan sebagainya, dapat menjadi penyedia layanan V2X yang lebih baik daripada DSRC. Juga dapat dicatat bahwa saat ini tidak ada upaya signifikan yang sedang berlangsung untuk mengembangkan teknologi DSRC untuk memenuhi kebutuhan wisatawan di masa depan^[86]. Ini menciptakan peluang bagi C-V2X untuk masuk dan memimpin.

Memfaatkan peluang ini, 3GPP telah menyelesaikan beberapa studi dan menghasilkan beberapa Laporan Teknis^[94.96.103.104]¹⁶. Misalnya, 3GPP TR 36.786^[103] menyarankan bahwa pita operasi LTE 47 (5,9 GHz) dapat dipertimbangkan untuk operasi V2X melalui antarmuka PC5. Laporan yang sama merekomendasikan pita frekuensi 3, 7, 8, 39, dan 41 untuk pengoperasian melalui antarmuka Uu. Selain itu, pita 3, 7, 8, 39, 41, dan 47 diuraikan untuk operasi multi-pembawa. 3GPP juga melakukan studi untuk koeksistensi berbagai teknologi di pita ITS 5,9 GHz. Dukungan V2X untuk peleton kendaraan¹⁷ sebagaimana diuraikan dalam 3GPP TR 22.886 [104] dapat menyebabkan jarak yang lebih pendek antar kendaraan, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan mengarah pada mengemudi otomatis. Langkah selanjutnya dari pekerjaan ini, yaitu Spesifikasi Teknis 3GPP, saat ini sedang dalam pengembangan dan diharapkan akan dirilis pada waktunya untuk peluncuran 5G.

5.18 Arsitektur VC

Arsitektur VC tidak diharapkan untuk dikembangkan dari awal; melainkan, itu akan diturunkan dari banyak V2V dan V2I dan, secara umum, proyek V2X. Kendaraan, khususnya yang high-end, dilengkapi dengan beberapa prosesor dan *controller* mikro yang didedikasikan untuk tugas-tugas seperti injeksi bahan bakar, pengereman, transmisi, pengisian baterai, dan sebagainya, dan juga dilengkapi dengan sistem navigasi seperti GPS dan sensor untuk kecepatan, arah, suhu, status airbag, kamera belakang dan depan, dan sebagainya. Fungsionalitas komputasi VC diharapkan independen dan bertanggung jawab untuk menjalankan protokol komunikasi V2X dan aplikasi yang didukung^[89,90,93].

Gambar 5.10 membandingkan tumpukan protokol saat ini dengan kemungkinan C-V2X. Perbedaan utama antara keduanya adalah pada lapisan bawah. Dalam kasus DSRC/WAVE, lapisan fisik didasarkan pada standar IEEE 802.11p, sedangkan di C-V2X, dapat didasarkan pada LTE dan/atau 5G. MAC dibagi menjadi MAC bawah dan atas yang didukung oleh standar IEEE 802.11p dan 1609.4, masing-masing, di DSRC, sedangkan MAC didasarkan pada standar seluler di C-V2X. Lapisan atas, mekanisme keamanan, dan layanan manajemen dapat serupa di dua tumpukan^[99.102.105.106].

Transmisi nirkabel LTE/5G dan teknologi akses menengah akan semakin memperkaya lingkungan VC karena DSCR/WAVE hanya dapat mendukung aplikasi berbasis V2V dan V2I. Tumpukan protokol DSCR/WAVE dibagi di atas lapisan MAC antara WAVE Short Message Protocol (WSMP) yang non-IP dan IP. Berbagai macam kasus pengguna yang memerlukan

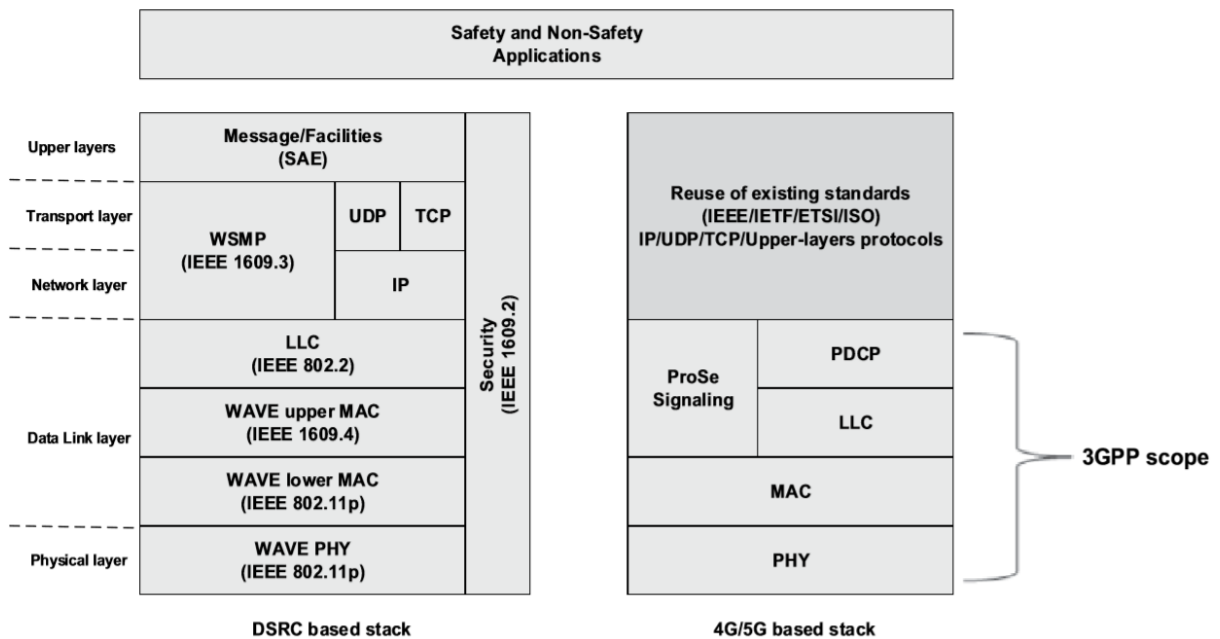
¹⁶ Hanya beberapa pekerjaan utama yang dirujuk; rincian dapat ditemukan di 3GPP.

¹⁷ Peleton kendaraan dapat dianggap sebagai gerbong kereta api yang diikat dengan tali virtual.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

latensi rendah dan keandalan tinggi dapat ditangani oleh LTE seperti "jangan lewati peringatan" pada kecepatan jalan raya dan ADAS (Sistem Bantuan Pengemudi Otomatis dan Pengemudi Tingkat Lanjut). Kemungkinan tidak layak untuk menangani dua kasus penggunaan ini dengan DSRC karena ini membutuhkan rentang yang lebih panjang atau setara dengan waktu reaksi pengemudi yang wajar^[86].

Jaringan yang ada dan teknologi transportasi di atas lapisan fisik dan data link dapat digunakan untuk mendukung pertukaran data antara kendaraan dan antara kendaraan dan infrastruktur pinggir jalan/jaringan seluler. Perutean data dapat dilakukan dengan menggunakan strategi penerusan berbasis posisi yang cocok untuk komunikasi kendaraan. Misalnya, metode geocast terdiri dari menyiarkan paket di area geografis terbatas di sekitar node sumber. GeoCast atau perutean berbasis posisi mengasumsikan bahwa setiap node mengetahui posisi geografisnya (misalnya, dengan GPS) dan memelihara tabel lokasi dengan posisi geografis node lain. Paket-paket diteruskan ke arah tujuan berdasarkan posisi sumber, tujuan, dan node perantara.

Lapisan jaringan/transportasi, pada gilirannya, mendukung berbagai aplikasi keselamatan dan non-keselamatan. Mekanisme keamanan IEEE/ETSI/ISO yang berlaku bersama dengan fitur manajemen dapat digunakan untuk mendukung tumpukan protokol^[89,93].



Gambar 5.10 tumpukan protokol VC

5.19 Kasus penggunaan V2X

Tujuan utama V2X adalah untuk meningkatkan keselamatan transportasi dan mengurangi jumlah kecelakaan. Departemen Transportasi AS (USDOT) mengumumkan pada bulan Desember 2016 bahwa mereka mengharuskan pembuat mobil untuk memasukkan teknologi V2V di semua kendaraan ringan baru. Keputusan ini dapat mencegah ratusan dan ribuan kecelakaan di AS. Selain itu, Administrasi Jalan Raya Federal DOT AS juga berencana mengeluarkan panduan untuk komunikasi V2I guna meningkatkan mobilitas, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan keselamatan^[107]. Keputusan serupa dapat diharapkan pada V2N dan V2I di masa depan.

Secara keseluruhan, layar di dalam kendaraan dapat dianggap sebagai layar keempat setelah TV, komputer, dan ponsel, dan dapat digunakan untuk keselamatan serta untuk infotainment.

DSRC memiliki keterbatasan seperti jangkauan yang lebih pendek dan tidak ada jalur evolusi tertentu. V2X melalui desain dan implementasi yang diantisipasi mencoba untuk mengatasi sejumlah kasus penggunaan termasuk dan di luar cakupan WAVE/DSRC. Berikut ini adalah beberapa kasus penggunaan utama:

- ADAS: Sistem bantuan pengemudi tingkat lanjut memerlukan keandalan tinggi dan transfer pesan latensi rendah pada kecepatan tinggi. Contohnya termasuk peringatan titik buta, peringatan kehilangan kendali, dan sebagainya.
- Kesadaran Situasional: Berlawanan dengan ADAS, hal ini memerlukan persyaratan menunggu/latensi yang lebih lama seperti peringatan antrian dan peringatan kondisi jalan berbahaya.
- Layanan Perjalanan Darat: Ini dapat mencakup penyediaan dukungan komunikasi untuk perjalanan antar moda yang mencakup lebih dari satu moda transportasi.
- Layanan Tambahan: Ini mencakup jenis komunikasi yang fleksibel seperti perencanaan rute, infotainment, dan sebagainya.
- 3GPP mendefinisikan sejumlah kasus penggunaan di TS 22.185 seperti peringatan tabrakan ke depan, sistem parkir otomatis, layanan keselamatan jalan, dan sebagainya.

5.20 Tantangan VC

VC membawa sejumlah tantangan teknis tetapi juga perilaku (keuangan, privasi, hukum, dan masalah organisasi) karena sejumlah industri terlibat dalam pengasuhan. Salah satu tantangan tersebut terkait dengan keamanan sistem tersebut. Untuk melindungi sistem VC dari kontaminasi informasi seperti peringatan palsu, dan serangan sejenis lainnya, diperlukan mekanisme keamanan yang kuat dan efisien. Selanjutnya, langkah-langkah keamanan seperti suar, penemuan tetangga, dan geocasting harus diambil untuk memastikan metode identifikasi kendaraan diterapkan secara efektif. Demikian pula, aspek manajemen mobilitas sistem VC termasuk manajemen lokasi dan mekanisme serah terima antara infrastruktur seluler dan RSU menuntut penyelidikan lebih lanjut.

Sistem V2X yang diimplementasikan sepenuhnya dapat mengatasi beberapa tantangan yang disebutkan di atas. Namun, perlu dicatat bahwa V2X juga memiliki keterbatasan. Misalnya, tidak semua jalan ditutupi dengan infrastruktur seluler dan RSU, sehingga investasi tambahan mungkin diperlukan. V2V adalah semacam fitur bawaan, tetapi untuk V2N/V2I, industri seluler mungkin harus mengembangkan model bisnis yang dapat membenarkan investasi tambahan.

5.21 Aspek Regulator

FCC menetapkan 75 MHz pada pita 5,9 GHz (5,850–5,925 GHz) untuk DSRC pada tahun 2006. Sepuluh tahun kemudian, FCC merilis pemberitahuan publik pada 1 Juni 2016, untuk potensi pembagian spektrum antara DSRC dan WiFi tanpa izin. Terutama, dua metode pembagian spektrum antara operasi yang tidak berlisensi dan DSRC sedang diselidiki. Teknik pertama adalah pendekatan "deteksi dan hindari" di mana WiFi yang beroperasi di pita U-NII-4 (Infrastruktur Informasi Nasional Tanpa Lisensi)¹⁸ menghindari menggunakan pita tersebut saat sinyal DSRC terdeteksi. Teknik kedua melihat ke dalam rechannelization di mana bagian atas 30 MHz tetap dialokasikan untuk komunikasi DSRC keselamatan-keamanan yang sensitif terhadap latensi sementara 45 MHz yang lebih rendah digunakan bersama dengan komunikasi yang tidak berlisensi.

Pada bulan Agustus 2008, Komisi Eropa mengalokasikan sebagian dari pita 5,9 GHz (5875–5905 MHz) untuk aspek terkait keselamatan ITS. Delapan tahun kemudian, ECC (Komite

¹⁸ U-NII-4 beroperasi pada 5,850 hingga 5,925 GHz
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

Komunikasi Elektronik) memutuskan bahwa CEPT (Konferensi Eropa Administrasi Pos dan Telekomunikasi) akan menetapkan pita 63–64 GHz sebagai pita alternatif untuk aplikasi ITS guna mengurangi kecelakaan/kematian lalu lintas. Untuk beberapa aplikasi ITS futuristik yang mungkin memerlukan 5G, pita 63–64 GHz mungkin sesuai.

Di banyak negara, penyelidikan dilakukan untuk menentukan pendekatan dan bandwidth yang tepat untuk V2X. Dalam semua studi ini, fokusnya adalah pada pita 5,9 GHz untuk mencapai skala ekonomi dan memiliki pita yang seragam untuk pengoperasian aplikasi V2X.

Di sisi berlawanan dari persamaan, cukup sulit untuk menerapkan V2X di banyak negara di mana jalur tidak ditandai di jalan, rambu berhenti tidak tersedia, dan di mana rasa dasar mengemudi sulit ditemukan di antara sejumlah besar pengemudi.

5.22 Evolusi VC

Perdebatan tentang VC dimulai lebih dari dua dekade lalu dan telah berlangsung lama. Dimulainya WAVE/DSRC untuk aplikasi V2V dan V2I oleh IEEE bersama dengan alokasi pita 5,9 GHz di beberapa negara merupakan tonggak penting.

Dalam beberapa tahun terakhir, 3GPP telah bergabung dan mengonsepsi V2X. 3GPP Rel-14 membentuk fondasi V2X dengan menetapkan persyaratan bersama dengan kasus penggunaan. Kasus penggunaan V2X seperti peringatan tabrakan ke depan, peringatan kehilangan kendali, peringatan kendaraan darurat, peringatan antrian, dan sebagainya telah dibayangkan dalam Rel-14. Bagaimana kasus penggunaan ini dapat didukung melalui 5G masih dalam penyelidikan di 3GPP.

Mengambil keuntungan dari ketidakefektifan IEEE dalam menentukan jalur evolusi yang berarti untuk DSRC, 3GPP telah menempatkan persyaratan untuk aplikasi V2X dengan latensi rendah dan keandalan yang lebih tinggi di Rel-15-nya. Tujuannya mungkin untuk membawa mengemudi otomatis lebih dekat dengan kenyataan, yang membutuhkan keandalan yang lebih tinggi (hingga 99,999%) dan latensi yang lebih rendah (sub 1 ms)^[99]. Rel-15 diperkirakan akan dibekukan pada September 2018.

5.23 Pengirisan Jaringan

Pengirisan jaringan adalah contoh logis ujung ke ujung dari jaringan dengan setidaknya atribut berikut^[108-113]:

- a. Berjalan pada jaringan fisik atau virtual
- b. Mengoptimalkan penggunaan jaringan untuk setiap skenario penggunaan yang diinginkan
- c. Menggunakan satu set akses dan fungsi jaringan inti
- d. Dikendalikan dan dikelola secara mandiri
- e. Dibuat sesuai permintaan, dan
- f. Tidak mengganggu fungsi dan layanan lain pada irisan yang hidup berdampingan

Perangkat lunak jaringan adalah tren yang muncul yang berupaya mengubah perancangan, perencanaan, implementasi, dan operasi jaringan melalui pemrograman perangkat lunak. Software jaringan memberikan fleksibilitas dan modularitas yang diperlukan untuk membuat jaringan logis (yaitu, irisan jaringan) melalui teknologi NFV (Network Functions Virtualization) dan SDN (Software Defined Networking)^[109,111].

Upaya standardisasi global berada pada tahap awal dan terutama difokuskan pada pengirisan vertikal (didefinisikan kemudian). Forum industri seperti 5GPPP (5G Infrastructure Public

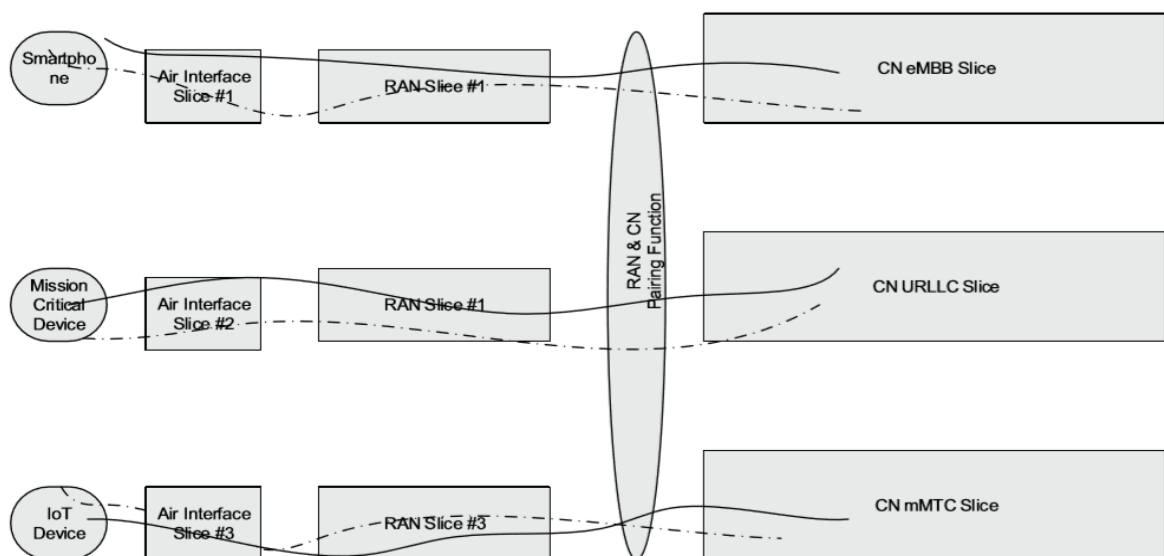
Private Partnership) dan NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance memimpin, sementara SDO seperti 3GPP baru saja mulai bekerja^[114]. Pengirisan jaringan diidentifikasi sebagai teknologi utama untuk 5G, tetapi banyak pekerjaan diperlukan untuk mengubahnya menjadi kenyataan yang sukses.

5.24 Pengirisan E2E

Pengirisan jaringan dapat dianggap sebagai evolusi berbagi jaringan, yang merupakan model bisnis yang terbukti bagi operator untuk mengurangi CAPEX dan OPEX. Pengirisan jaringan melampaui berbagi dan membayangkan menggunakan virtualisasi dan perangkat lunak untuk meningkatkan pengalaman pengguna, meningkatkan penggunaan jaringan, dan menambah pendapatan operator. Pengirisan memanifestasikan resolusi banyak masalah kompleks termasuk desain irisan, instantiasi, implementasi, dan operasi yang membutuhkan pemikiran baru. Misalnya, desain irisan untuk kasus tertentu memerlukan pengaktifan fungsi dalam bidang kontrol dan data, instantiasi menuntut mekanisme penyediaan melalui infrastruktur, implementasi mencari ketersediaan semua elemen jaringan yang diperlukan dan fungsi masing-masing, sedangkan untuk konfigurasi irisan operasi dan pengaturan pemantauan diperlukan selain prosedur lainnya.

Setiap irisan jaringan dapat terdiri dari antarmuka udara, akses radio, dan jaringan inti seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.11. Fronthaul dalam kasus C-RAN dan area transportasi mungkin harus dipertimbangkan untuk beberapa kasus. Selanjutnya, virtualisasi dan softwarization melalui NFV dan SDN juga merupakan blok pembangun utama dari network slicing. Pengirisan diwujudkan melalui fungsi jaringan yang menyediakan kemampuan khusus yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan tertentu. Fungsi jaringan bisa khusus untuk irisan atau dapat digunakan di banyak irisan. Fungsi jaringan dapat berupa fisik (terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak) atau virtual (di mana perangkat lunak dipisahkan dari perangkat keras yang digunakannya)^[109].

Dalam lingkungan persaingan yang ketat saat ini, operator bekerja untuk memaksimalkan laba atas investasi dan pemanfaatan jaringan mereka. Pengirisan E2E (end-to-end) adalah instrumen yang dapat mencapai tujuan ini, menjadi berita utama, dan merupakan area penting dalam penelitian dan pengembangan 5G.



Gambar 5.11 Irisan jaringan E2E

5.24.1 Mengiris dalam RAN

Sepotong dalam RAN bergantung pada Radio Access Technology (RAT) dan konfigurasi sumber daya radio untuk membawa apa yang dimaksudkan untuk disampaikan. Mungkin ada RAT terpisah di 5G yang dirancang untuk menangani layanan yang berbeda. Misalnya, satu RAT bisa untuk IoT dan yang lain mungkin untuk broadband seluler. Konfigurasi terkait RAN, yang disesuaikan dengan irisan tertentu, dapat mencakup kontrol akses, penyeimbangan beban, dan penjadwalan sumber daya^[111,112]. Untuk mengaktifkan irisan, titik akses/stasiun basis dapat mengalokasikan sumber daya radio untuk irisan dan mengaktifkan semua fungsi radio dan jaringan yang diperlukan untuk pengoperasian irisan. Irisan dalam RAN mungkin memerlukan bidang kontrol/bidang pengguna khusus irisan dan operasi on/off irisan^[115].

Irisan dalam RAN akan berbagi sumber daya radio seperti waktu/frekuensi/ruang dengan irisan lain, bersama dengan perangkat keras komunikasi yang sesuai baik secara dinamis atau statis sesuai dengan aturan konfigurasi. Berbagi sumber daya radio dilakukan oleh penjadwal pusat yang berada di stasiun pangkalan 5G. Jika berbagi sumber daya statis digunakan, irisan akan mendapatkan alokasi sumber daya yang dijamin, sementara dengan berbagi sumber daya dinamis, penggunaan dioptimalkan. Jenis dan jumlah sumber daya RAN yang diperlukan untuk sepotong jaringan tergantung pada layanan seperti broadband seluler, IoT, penggerak otonom, dan persyaratan QoS masing-masing, yaitu kapasitas tinggi, koneksi masif, dan latensi sangat rendah^[111.112].

Sejauh konfigurasi C-pesawat (control plane) dan U-plane (pesawat pengguna) yang bersangkutan, tiga alternatif yang mungkin. Alternatif 1 memungkinkan bidang-C umum di semua irisan dan bidang-U khusus untuk setiap irisan. Alternatif 2 dapat menyediakan bidang-C dan bidang-U khusus untuk setiap irisan, sedangkan alternatif ketiga akan menjadi kasus dengan bidang-U umum dan bidang-C khusus untuk masing-masing irisan. Fungsi irisan bidang C yang umum mencakup fungsi dalam mode siaga seperti paging, pemilihan sel, dan sebagainya, sedangkan fungsi dalam mode terhubung seperti serah terima, pengaturan pembawa khusus, dan sebagainya, dapat dikategorikan ke dalam fungsi bidang kontrol khusus irisan^[111.112.115].

5.24.2 Mengiris di Jaringan Inti

Secara tradisional, jaringan inti telah dirancang sebagai jaringan tunggal yang melayani berbagai tujuan dan telah disesuaikan dengan satu atau lebih RAN sambil mendukung kompatibilitas mundur dan interoperabilitas. Pengirisan jaringan, jika diterapkan dengan benar, memungkinkan jaringan inti dipisahkan secara logis sehingga setiap irisan jaringan inti beroperasi secara independen sementara kemungkinan berjalan pada infrastruktur bersama yang sama.

Elemen kunci arsitektur 5G adalah pemisahan fungsi kontrol dan bidang pengguna dalam jaringan inti yang memungkinkan pilihan selektif fungsi bidang-U yang diperlukan untuk irisan dan distribusi bidang-U yang berbeda ke situs yang lebih dekat dengan perangkat, selain fitur lainnya. C-plane tidak sesuai dengan banyak fungsi U-plane seperti penerapan fisik dan spesifik transportasi L3. Bidang kontrol, seperti namanya, mengelola pesan pensinyalan, informasi lokasi, pemilihan/pemilihan ulang sel, dan sebagainya. C-plane dapat ditempatkan di lokasi sentral, membuat manajemen dan operasi tidak terlalu rumit, sedangkan user plane dapat didistribusikan ke sejumlah situs. Dengan mendekatkan U-plane kepada pengguna, waktu pulang pergi antara pengguna dan layanan jaringan dapat dipersingkat. Fungsionalitas U-plane dapat digunakan untuk menangani kasus penggunaan tertentu. Misalnya, layanan

MBB (broadband seluler) dapat dibagi menjadi streaming video dan sublayanan penelusuran web yang dapat diimplementasikan oleh kumpulan fitur yang berbeda dalam potongan jaringan^[112].

Irisan dapat didefinisikan untuk layanan/aplikasi dukungan yang berbeda dengan serangkaian fungsi jaringan inti/radio yang ditargetkan. Fungsi penyandingan irisan didefinisikan untuk memasang irisan RAN dan jaringan inti (CN) untuk membentuk irisan ujung ke ujung. Pemetaan antar perangkat, RAN dan CN slice, bisa 1:1:1 atau 1:M:N, misalnya, sebuah perangkat dapat memiliki RAN slice sedangkan RAN slice dapat terhubung ke beberapa CN slice^[112.118].

5.25 SDN dan NFV dalam Mengiris

SDN dan NFV sangat penting untuk kerja jaringan slicing yang efektif. SDN memisahkan C-plane dan U-plane untuk mengoptimalkan kinerja jaringan sementara NFV memungkinkan virtualisasi jaringan.

5.25.1 Gambaran SDN

Arsitektur SDN yang ditentukan oleh Open Networking Foundation (ONF) memungkinkan arsitektur umum untuk secara efisien mendukung beragam irisan yang disesuaikan untuk layanan berbeda dengan persyaratan berbeda. Arsitektur SDN adalah teknologi netral, sehingga dapat mendukung teknologi kabel, nirkabel, dan mobile. SDN terdiri dari dua komponen utama, yaitu sumber daya dan *controller*. Sumber daya dapat berupa apa saja, tetapi dalam kasus ini, dapat berupa fungsi jaringan fisik yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak atau fungsi jaringan virtual (VNF) di mana perangkat lunak dipisahkan dari perangkat keras untuk realisasi bagian tertentu. Sumber daya dikelola melalui *controller* yang merupakan entitas sentral dalam arsitektur SDN. *Controller* mempertahankan isolasi di bidang kontrol dan data, memungkinkan setiap instance irisan jaringan dioperasikan sebagai jaringan yang berbeda dan terpisah secara logis. Ini menyediakan isolasi sumber daya juga untuk banyak irisan yang berjalan pada infrastruktur umum. Selain sumber daya dan *controller*, konsep kunci berikut sangat penting untuk implementasi jaringan berbasis SDN^[109.116]:

- Virtualisasi adalah fungsi *controller* untuk mengabstraksi sumber daya yang mendasarinya yang dikelolanya. Virtualisasi jaringan membantu dalam pembuatan jaringan virtual terisolasi yang dipisahkan dari jaringan fisik yang mendasarinya dan berjalan di atasnya.
- Orkestrasi menurut definisi membawa hal-hal yang berbeda menjadi satu kesatuan yang koheren. Dalam slicing, ini didefinisikan sebagai tanggung jawab *controller* untuk mengirimkan sumber daya untuk memenuhi permintaan klien secara optimal.
- Rekursi, yang dapat berupa hierarki atau federasi, memungkinkan *controller* untuk menggunakan sumber daya dari *controller* tingkat yang lebih rendah dan menyediakan layanan ke *controller* tingkat yang lebih tinggi (skema hierarkis) sementara federasi bekerja pada tingkat yang sama.

SDN menyediakan fungsi bidang kontrol yang ekstensif untuk memungkinkan pengirisan jaringan, namun, untuk mengelola siklus hidup irisan dan sumber daya penyusunnya secara efisien, NFV diperlukan.

5.25.2 Gambaran NFV

ETSI NFV standar GS (Spesifikasi Grup) NFV 002^[117] mendefinisikan manajemen siklus hidup layanan jaringan. Layanan jaringan menurut ETSI GS NFV 003^[118] adalah komposisi fungsi

jaringan dan ditentukan oleh spesifikasi fungsional dan perilakunya. Dengan demikian, konsep manajemen siklus hidup dapat digunakan kembali untuk jaringan slicing^[112].

NFV membayangkan implementasi fungsi jaringan sebagai entitas perangkat lunak saja (virtualisasi) yang berjalan di atas Infrastruktur NFV (NFVI). Virtualisasi berarti bahwa Fungsi Jaringan (NF) dan bagian dari infrastruktur jaringan diimplementasikan dalam perangkat lunak, yaitu pemisahan perangkat lunak dari perangkat keras. Pemisahan ini memungkinkan evolusi independen masing-masing. Sejalan dengan itu, layanan jaringan ujung ke ujung (suara, data, IoT, dll.) dapat dijelaskan dengan Grafik Penerusan NF¹⁹ dari NF dan titik akhir yang saling berhubungan. Untuk memfasilitasi virtualisasi, kerangka arsitektur referensi NFV yang didefinisikan oleh ETSI dapat digunakan. Kerangka kerja ini memungkinkan konstruksi dinamis dan pengelolaan instans VNF. Ini juga mengelola hubungan antara VNF yang terkait dengan data, kontrol, dan atribut lainnya.

5.25 SDN dan NFV dalam Mengiris

Untuk memanfaatkan manfaat SDN dan NFV untuk network slicing, diperlukan kerjasama yang tepat antara keduanya. Namun, integrasi kedua entitas ke dalam kerangka umum bukanlah pekerjaan yang mudah.

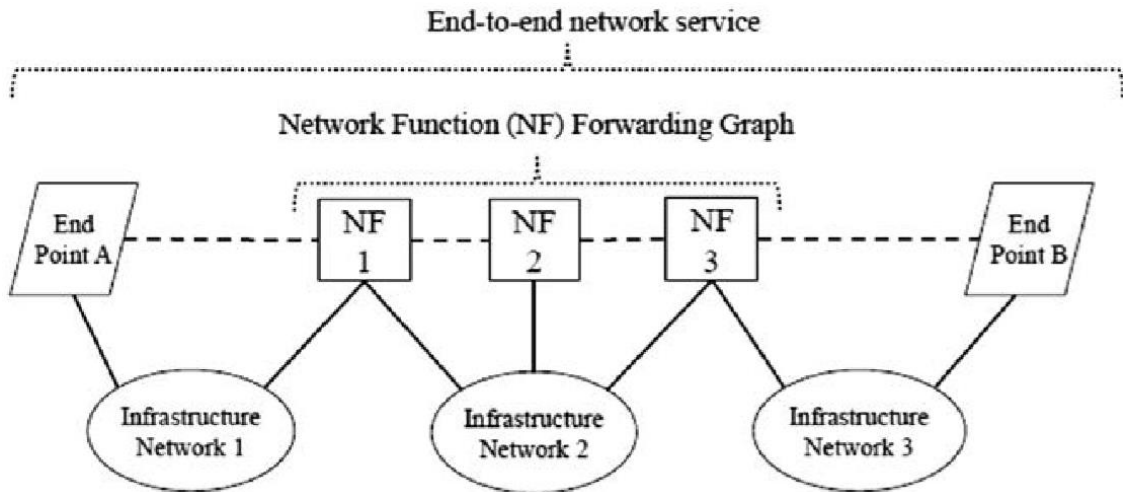
Pertimbangkan sepotong LTE yang mungkin terdiri dari komponen akses radio eNB, dan komponen jaringan inti seperti Mobility Management Entity (MME), Serving Gateway (SGW), Packet Gateway (PGW), dan seterusnya, untuk menyediakan broadband ke populasi dari pengguna seluler. eNB adalah PNF (fungsi jaringan fisik) sedangkan entitas lain dapat berupa PNF atau VNF. PNF dan VNF ini, yang merupakan sumber daya sejauh menyangkut SDN, dapat dijadikan bagian dari irisan jaringan ujung ke ujung seperti yang didefinisikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12.

VNF dari irisan LTE ini dapat berinteraksi dengan kerangka kerja ETSI NFV MANO (Manajemen dan Orkestrasi)^[119] (bagian dari kerangka kerja arsitektur referensi NFV yang didefinisikan dalam^[117]). Gambar 5.13 menunjukkan arsitektur potensial yang mengelola fungsi jaringan tervirtualisasi dan nonvirtualisasi menggunakan NFV dan SDN untuk teknologi 3GPP. Untuk komponen atau PNF yang tidak tervirtualisasi, NFV MANO tidak dapat digunakan dan oleh karena itu diperlukan manajemen siklus hidup yang terpisah. PNF tidak berada di bawah kendali MANO, tetapi juga dibagi di antara banyak irisan, terutama bagian PNF dari jaringan akses radio. 3GPP saat ini memiliki item studi tentang pengelolaan bagian nonvirtualisasi tersebut^[120]. Laporan yang sama, yaitu TR 32.842, juga mengklarifikasi hubungan antara kerangka kerja manajemen 3GPP dan kerangka kerja NFV-MANO.

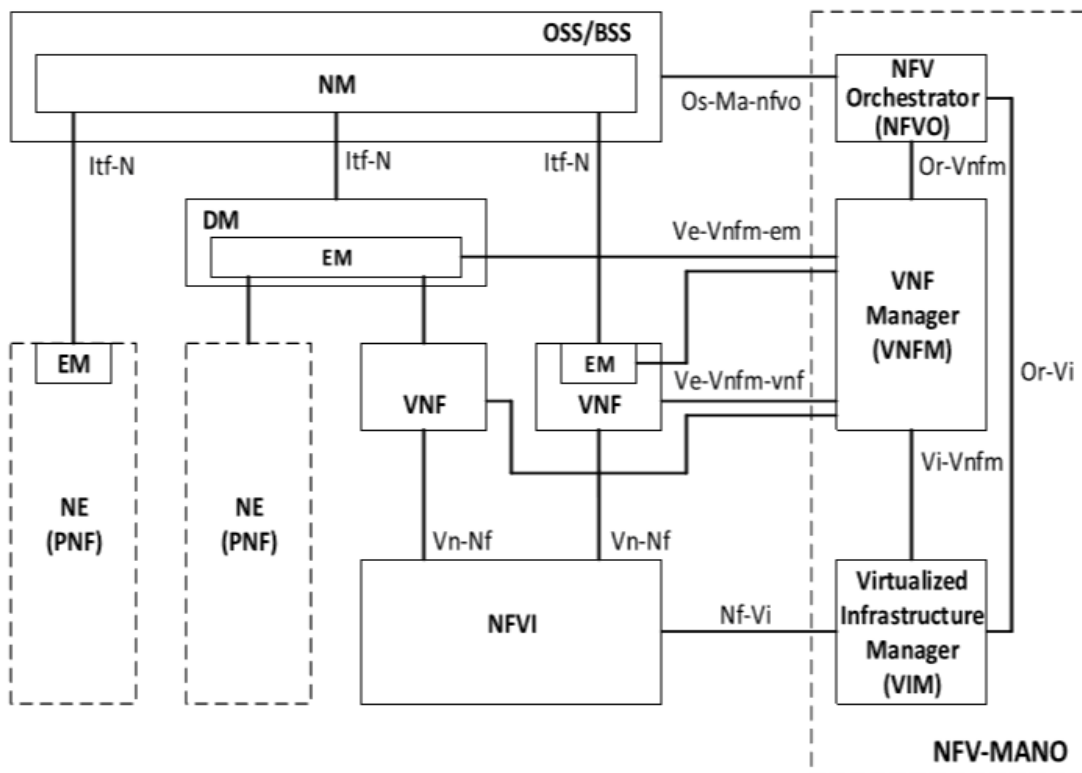
VNF yang ditentukan 3GPP masih memerlukan beberapa perangkat keras yang mendasarinya. Sumber daya perangkat keras ini diharapkan dapat dikelola secara independen dari entitas virtual yang diperlukan untuk sistem 3GPP. Tujuan NFV adalah bahwa VNF diperoleh secara independen dari sumber daya perangkat keras dan diterapkan ke sistem yang sebagian tervirtualisasi (misalnya, melalui SDN) atau yang sepenuhnya tervirtualisasi. Istilah virtualisasi parsial versus parsial lengkap didefinisikan dalam ETSI GS NFV-INF 001^[121]. Menurut spesifikasi tersebut, NF besar atau NE (elemen jaringan) dapat dipecah menjadi sejumlah NF konstituen. Jika semua konstituen tersebut diimplementasikan sebagai VNF, maka virtualisasi NF atau NE skala besar dapat dianggap selesai. Jika tidak semua tetapi hanya beberapa NF konstituen

¹⁹ Grafik link logis yang menghubungkan node NF untuk tujuan menggambarkan arus lalu lintas antara fungsi-fungsi jaringan ini adalah grafik penerusan NF^[118].

yang diimplementasikan sebagai VNF, maka virtualisasi NF skala besar tersebut dikatakan parsial.



Gambar 5.12 Layanan jaringan E2E. (Dari ETSI GS NFV 002 (V1.1.1) 2013. Virtualisasi Fungsi Jaringan (NFV); Kerangka Arsitektur, ETSI, Oktober^[117].)



Gambar 5.13 Hubungan pemetaan manajemen jaringan campuran antara kerangka arsitektur 3GPP dan NFV-MANO. (Dari 3GPP TR 32.842 (V13.1.0) 2015. Manajemen Telekomunikasi; Studi Manajemen Jaringan Jaringan Virtual. Laporan Teknis (Rilis 13), Layanan Grup Spesifikasi Teknis dan Aspek Sistem, 3GPP, Desember^[120].)

5.26 Manfaat/Tantangan/Masa Depan

Virtualisasi dan softwarization membawa sejumlah tantangan dan peluang. Beberapa contoh network slicing termasuk slice yang melayani perusahaan utilitas (meminta tanker air, dan

lain-lain.), slice untuk Operator Jaringan Virtual Seluler (MVNO), slice untuk layanan video streaming, dan sebagainya.

Saat ini, salah satu tantangan sulit yang dihadapi operator adalah tersumbatnya jaringan oleh perangkat tertentu, yang berdampak pada penyampaian layanan ke pengguna lain. Pengirisan jaringan dapat membantu dalam memuat perangkat pemerah pipi tersebut ke irisan tertentu sambil menjaga agar irisan lainnya tidak terpengaruh. Sensor yang berperilaku tidak semestinya, misalnya dalam irisan jaringan, tidak akan memengaruhi layanan keamanan publik kritis yang berjalan di irisan lain.

Irisan jaringan dikerahkan di atas infrastruktur dasar umum yang memiliki jumlah sumber daya terbatas. Implementasi ini memiliki dua tantangan, yaitu isolasi dan pengelolaan sumber daya. Tanpa isolasi yang tepat, irisan mungkin tidak dapat bekerja dengan baik. Namun, jika irisan diberikan sumber daya khusus, ini dapat menyebabkan penyediaan yang berlebihan. Mekanisme pengelolaan sumber daya diperlukan untuk mencapai keseimbangan dalam implementasi sumber daya yang didedikasikan dan dibagikan.

Untuk kolaborasi yang hampir sempurna antara SDN dan NFV, adalah wajib untuk memformalkan antarmuka yang dapat digunakan untuk meminta atau memanggil layanan pihak lain. Sejalan dengan itu, antarmuka antara 3GPP dan NFV MANO juga memerlukan penelitian dan penyelidikan untuk kelancaran operasi. Untuk keberhasilan kolaborasi ini, penting bahwa ketiga disiplin ilmu yang berbeda memahami konsep dan terminologi masing-masing dan menyelesaikan perbedaan untuk hasil yang sukses^[122].

Untuk keberhasilan slicing, diperlukan model bisnis baru yang memerlukan kemitraan inovatif antara beberapa pemain termasuk tetapi tidak terbatas pada penyedia layanan tradisional, penyedia layanan OTT (over-the-top), perusahaan utilitas, rumah media, dan sebagainya, dan peraturan yang ramah bisnis. kerangka kerja.

Singkatnya, teknik saat ini menyediakan sejumlah layanan melalui satu jaringan; Pengirisan jaringan 5G dapat mengatur lingkungan jaringan yang dioptimalkan untuk setiap layanan (setidaknya ini harapannya)^[123].

5.27 Kebijakan 5G

Implementasi 5G semakin dekat dan menjadi kenyataan dari hari ke hari. Penelitian terwujud, standardisasi sedang berlangsung, dan ITU siap untuk mendukung standar IMT-2020 (5G) pada 2019/2020.

Miliaran diinvestasikan, tetapi hanya dari ekonomi tertentu dan pemain kunci dari sektor telekomunikasi. Misalnya, Korea Selatan melalui Kementerian Pendidikan, Sains, dan Teknologi (MEST) menginvestasikan Rp. 210 triliun. Pabrik China Huawei dan ZTE telah menghabiskan setidaknya Rp. 7 miliar, Uni Eropa dan industri ICT Eropa menginvestasikan € Rp. 140 triliun dalam program Kemitraan Publik-Swasta Infrastruktur 5G bersama, dan AS melalui National Science Foundation (NSF) mengucurkan Rp. 52 miliar ke Inisiatif Penelitian Nirkabel Lanjutan.

5G akan mencakup lebih banyak dari pendahulunya. ITU telah memperkirakan tiga skenario penggunaan, yaitu, Broadband Seluler yang ditingkatkan (eMBB), URLLC, dan Komunikasi Jenis Mesin (mMTC) besar-besaran untuk 5G. Skenario-skenario ini melibatkan berbagai pasar/industri vertikal yang dulunya minim lekat dengan teknologi, seperti otomotif, energi, dan

industri lainnya, namun kini diharapkan bisa lebih terlibat karena lebih banyak yang dipertaruhkan.

Saat ini, ketika industri seluler sangat fokus pada pengembangan 5G, pemerintah/regulator juga harus aktif mengembangkan kebijakan seluler 5G nasional jangka panjang dan solid. Bagian ini mencoba untuk mencakup aspek-aspek kunci yang dapat dimasukkan dalam kebijakan 5G tersebut.

5.28 Target

Setiap negara memiliki kekhasan, budaya, dan kedudukan ekonominya sendiri, sehingga kebijakan satu ukuran untuk semua tidak akan berhasil. Namun, kebijakan 5G harus mencapai target tertentu dan mengatasi tantangan tertentu yang mungkin umum terjadi di banyak negara. Target umum tersebut adalah sebagai berikut:

- i. Menyediakan layanan eMBB, URLLC, dan mMTC yang andal.
- ii. Hubungkan banyak hal dan banyak industri di jaringan ITC dan buat ini lebih efisien dan cerdas.
- iii. Ciptakan lebih banyak pekerjaan dalam ITC dan di sektor/industri lain.
- iv. Memberikan Rol (laba atas investasi) yang berkelanjutan.

5.29 Bagaimana Mencapai Target

Margin keuntungan semakin kecil dari hari ke hari di arena telekomunikasi. Kenyataan ini semakin mempersulit pencapaian target-target tersebut di atas. Upaya yang diperlukan untuk mencapai tujuan juga bervariasi dengan status keuangan dan status teknologi negara. Misalnya, kebijakan FCC AS mungkin tidak akan sesuai untuk India dan Pakistan dan sebaliknya.

Keempat target tersebut saling terkait, misalnya lapangan pekerjaan tidak dapat tercipta tanpa memiliki ROI yang solid. Jika operator telekomunikasi, vendor, dan pemangku kepentingan lainnya menghasilkan uang, maka mereka akan memasuki area bisnis baru, yang akan membawa inovasi, menciptakan lapangan kerja, dan menggerakkan pertumbuhan/aktivitas ekonomi. Salah satu pendukung utama untuk mencapai target ini adalah kebijakan 5G nasional yang kuat.

5.30 Area/tantangan dalam Realisasi Target

5.30.1 Pajak

Industri komunikasi seluler dikenai pajak yang berat di banyak negara berkembang dan negara berkembang. Pajak ini berlaku untuk industri seluler dan konsumen seluler. Di banyak negara seperti itu, pembayaran pajak dari operator seluler dan konsumen memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pendapatan publik—itu dianggap sebagai uang tunai. Industri seluler dan konsumen juga membayar sejumlah pajak dan biaya khusus industri/khusus seluler, membuat kontribusinya ke kas nasional lebih tinggi daripada banyak industri lainnya^[124–126].

Konsumen membayar PPN (pajak pertambahan nilai), bea masuk atas handset, dan pajak khusus seluler. Pajak khusus seluler dapat mencakup pajak khusus untuk penggunaan (seperti pajak atas penggunaan data), pajak barang mewah untuk handset, dan pajak aktivasi SIM (Subscriber Identification Module). Biaya mobile broadband mewakili lebih dari sepertiga pendapatan tahunan rata-rata penduduk termiskin di banyak negara berkembang^[125]. Selain itu, mungkin atau mungkin tidak termasuk biaya yang dibebankan operator kepada konsumen untuk secara tidak langsung menutupi sebagian dari pajak mereka. Berlawanan dengan

praktik perpajakan yang tidak seimbang di pasar berkembang dan pasar berkembang ini, perpajakan pada konsumen seluler di banyak negara maju disebabkan oleh PPN (pajak penjualan umum) dan diterapkan secara seragam pada semua barang dan jasa. Secara keseluruhan, pajak atas konsumen seluler mencerminkan porsi yang cukup besar (20% atau lebih tinggi) dari biaya kepemilikan seluler* di banyak negara berkembang dan berkembang.

Industri seluler dikenakan pajak perusahaan, bea masuk atas peralatan, kontribusi berbasis pendapatan, dan biaya regulasi tahunan dan spektrum tahunan. Kontribusi berbasis pendapatan seperti Dana Layanan Universal (USF) (untuk pengembangan layanan telekomunikasi terutama di daerah yang kurang berkembang) tidak direpresentasikan sebagai pajak, tetapi biayanya sama seperti pajak. Selain USF, operator seluler juga membayar persentase tertentu dari pendapatan mereka untuk inkubasi R&D dan dalam bentuk pajak bagi hasil (misalnya, di Thailand). Operator seluler juga dikenakan pajak perusahaan yang lebih tinggi di beberapa negara. Misalnya, di Kamerun dan Tunisia, operator membayar masing-masing 39% dan 35% sebagai pajak perusahaan, dibandingkan tarif standar 25%^[126].

Singkatnya, industri seluler dan konsumen seluler dikenakan pajak yang lebih tinggi dibandingkan dengan industri lain di banyak negara berkembang dan berkembang sebagaimana tercermin secara singkat di bagian ini. Untuk meningkatkan keduanya, diperlukan struktur perpajakan yang seimbang berdasarkan prinsip kesetaraan dibandingkan dengan industri/sector lain.

5.30.2 Right of Way (RoW)

Pemegang lisensi telekomunikasi biasanya memiliki hak untuk mendapatkan akses ke RoW publik atau RoW pribadi untuk memasang, membangun, dan/atau memelihara peralatan/sistem telekomunikasinya. RoW telah menjadi sumber pendapatan bagi pemerintah dan juga bagi pemilik properti swasta.

RoW adalah topik yang menantang dan kompleks karena melibatkan hampir setiap orang dan setiap organisasi yang memiliki sebidang tanah, karena setiap orang tertarik untuk mendapatkan bagian dari kue tersebut. Ini akan menjadi lebih merepotkan dengan banyaknya sel kecil di jaringan masa depan seperti 5G. Di negara-negara seperti Indonesia, di mana tidak ada mekanisme yang seragam/konsisten untuk: memperoleh izin untuk memperoleh RoW, membebaskan biaya dan menyelesaikan perselisihan, situasinya bisa menjadi lebih buruk.

Di banyak negara, operator seluler menghadapi peraturan yang rumit dan terbatas tentang penerapan infrastruktur. Otorisasi diberikan di tingkat kotamadya untuk setiap lokasi sel/menara dan ini semakin memperumit pemasangan antena dan sel kecil. Untuk mengantisipasi bahwa akan ada banyak sel kecil di tahun-tahun mendatang, kotamadya mengubah kode pabrik luar mereka.

Tidak ada penyelesaian yang mudah untuk tantangan RoW, namun, pemulihan seperti operasi satu jendela, undang-undang yang tidak terlalu rumit, konsistensi dalam biaya yang berlaku, dan mekanisme penyelesaian sengketa yang efektif dapat sangat berguna.

5.30.3 Hal-hal yang Terhubung

IoT (Internet of Things) memberikan manfaat berupa pengurangan biaya, peningkatan pendapatan, dan peningkatan efisiensi. IoT akan menjadi masif dan akan membawa sejumlah tantangan kebijakan/regulasi. Teknologi tidak menjadi masalah dalam hal IoT. Di negara-negara di mana korupsi tinggi terutama dalam pengaturan pemerintah, adopsi IoT akan

menghadapi banyak hambatan karena dapat secara langsung menghantam sumber pendapatan mereka yang di bawah meja. Misalnya, menghubungkan meteran listrik dengan jaringan komunikasi bergerak merupakan tantangan karena melibatkan dua sektor terpisah dengan tujuan yang berbeda. Teknologi seluler adalah murni usaha komersial (dengan korupsi minimal), sedangkan listrik adalah fasilitas penting dasar yang disediakan oleh negara dengan masalah korupsi yang serius (setidaknya di banyak negara berkembang). Penggunaan teknologi seluler akan mempersulit korupsi, setidaknya dalam hal pembacaan meter.

Privasi adalah masalah bagi semua orang. Sensor IoT yang disematkan dapat menjadi pengawas sekaligus mata-mata dengan mengirimkan pesan yang diperlukan dan pada saat yang sama dapat bertindak sebagai penyerbu privasi seseorang. Bagian yang berisiko adalah konsumen IoT menyerahkan privasi mereka secara perlahan dan bertahap tanpa menyadari bagaimana informasi pribadi mereka dikumpulkan, siapa yang menggunakannya, dan bagaimana informasi itu digunakan. Untuk keberhasilan sejati mMTC, harmonisasi antara TIK, sektor/industri terkait, dan langkah pengamanan data diperlukan lebih dari sebelumnya.

5.30.4 Spektrum

Last but not least, faktor terkait spektrum seperti ketersediaan spektrum dan harmonisasi regional/global dan pertimbangannya oleh pemerintah sebagai sapi perah perlu dipikirkan kembali. Sekitar 2000 MHz dibutuhkan seperti yang diperkirakan oleh ITU-R pada tahun 2020 untuk IMT^[128] dan lebih banyak lagi pasti akan dibutuhkan ketika 5G berjalan lancar dalam dekade berikutnya. ITU-R perlu mengambil langkah-langkah mendesak untuk memastikan harmonisasi spektrum dan ketersediaannya untuk 5 hingga 10 tahun ke depan.

Pemerintah dan regulator mungkin perlu melakukan beberapa pemikiran ulang dalam hal lelang spektrum. Dunia telah melihat banyak contoh di mana operator belum dapat memulihkan uang yang telah mereka investasikan dalam spektrum baik di negara maju.

5.30.5 Ringkasan

Ringkasan bagian ini ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Bagian ini memberikan gambaran singkat tentang kebijakan implementasi 5G. Negara-negara dapat menggunakannya sebagai pedoman untuk mengembangkan kebijakan subjek mereka sendiri yang terperinci dan komprehensif.

Tabel 5.3 Kebijakan 5G-Target Utama, Pendekatan dan Manfaat

Pendekatan	Manfaat
Struktur perpajakan yang seimbang berdasarkan prinsip kesetaraan dibandingkan dengan industri/sektor lain	Inovasi
	Pertumbuhan pekerjaan (Target #3)
	Pendapatan tinggi (Target #4)
	Korupsi Rendah
RoW dalam pengoperasian 1 window	Penyebaran Cepat pada pelayanan IMT (Target #1)
Ketersediaan pada Pasar Vertikal	Manajemen Pemahaman RoW
Harmonisasi diantara spektrum, regional/harmonisasi global, dan penentuan biaya pada lelang spektrum	Penyebaran Cepat pada pelayanan eMBB, mMTC, URLLC (Target #1)
	Pendapatan Lebih Tinggi (target #4)

5.31 Linimasa 5G

Dunia bergerak dengan cepat menuju memungkinkan 5G. Beberapa negara kaya telah menginvestasikan miliaran/triliunan rupiah untuk mempertahankan/meningkatkan posisi ITC mereka, meningkatkan ekonomi mereka, dan menciptakan lapangan kerja. Di sisi standarisasi, ITU telah menerbitkan kriteria kinerja teknis 5G dan 3GPP diharapkan untuk merilis spesifikasi 5G Fase-1 dan Fase-2 masing-masing pada tahun 2018 dan 2019, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.14.

Demonstrasi langsung pertama 5G pra-standar dalam skala yang lebih besar diharapkan akan diadakan di Olimpiade Musim Dingin 2018 di Korea Selatan. Olimpiade Musim Panas 2020 di Jepang mungkin akan menjadi ujian bagi 5G. ITU juga diharapkan menyetujui standar 5G pada 2019/2020 dan mulai 2020/2021 dan seterusnya, penerapan komersial akan berjalan lancar.



Gambar 5.14 Garis waktu evolusi teknologi seluler 5G

5.32 Kesimpulan

5G diharapkan menjadi konsep yang berpusat pada pengguna alih-alih menjadi berpusat pada operator seperti pada 3G atau konsep yang berpusat pada layanan seperti yang terlihat pada 4G. Beberapa konsep kunci IMT-2020/5G telah dibahas dan yang lainnya akan dijelaskan dalam bab-bab terkait.

3GPP, dari Release-8, telah memperkenalkan beberapa fungsionalitas yang terkait dengan penanganan sistem multi-standar yang lebih baik, dan/atau kemampuan self-x. Bahkan jika kata kognitif jarang digunakan dalam spesifikasi 3GPP, beberapa fitur seperti radio multi-standar, jaringan yang mengatur sendiri, dan sebagainya secara inheren telah memperkenalkan beberapa tingkat kemampuan kognitif di LTE. Mengenai fungsi self-x, baik ETSI RRS dan 3GPP telah membahas aspek multi-RAT. Perbedaannya adalah bahwa ETSI RRS tidak hanya mempertimbangkan RAT 3GPP, tetapi semua kemungkinan RAT.

5G bukan hanya tentang RAN baru atau teknologi terbaru tetapi tentang jaringan masa depan. Implementasi praktis dari jaringan masa depan akan menjadi tantangan yang menakutkan.

5.33 Pertanyaan

1. Apa itu 5G?
2. Apa skenario penggunaan yang ditentukan oleh ITU untuk 5G?

3. Apa itu antarmuka udara dan apa perbedaannya di 5G? 4. Tentukan metode akses saluran?
4. Apa yang dimaksud dengan saluran komunikasi dan berikan beberapa contohnya?
5. Tentukan kapasitas saluran
6. Berapa kecepatan data maksimum yang dapat ditransmisikan melalui saluran LTE 20 MHz yang beroperasi pada SRN 30 dB?
7. Tentukan efisiensi spektral?
8. Apakah OFDM cocok untuk jenis aplikasi URLLC dan mMTC?
9. Apa itu NOMA dan apa perbedaannya dengan metode akses ganda lainnya?
10. Tentukan GFDM, UFMC, dan FBMC dan aplikasi prospektifnya?
11. Apa itu radio kognitif seperti yang didefinisikan oleh FCC?
12. Apa itu ruang putih?
13. Apa standar utama yang menggambarkan radio kognitif
14. Apa itu penginderaan spektrum pita sempit dan pita lebar?
15. Jelaskan perbedaan antara deteksi kooperatif terpusat dan terdistribusi?
16. Apa itu berbagi spektrum?
17. Jelaskan potensi pita frekuensi yang diidentifikasi WRC-15 (untuk IMT) untuk berbagi spektrum?
18. Jelaskan Cloud RAN?
19. Apa itu C-RAN masif?
20. Definisikan fronthaul?
21. Apa peran CPRI dalam C-RAN?
22. Apa itu komunikasi V2V dan V2I?
23. Tentukan V2X?
24. Jelaskan dua mode komunikasi C-V2X?
25. Apa itu DSRC dan dapatkah LTE menggantikannya?
26. Apa itu geocast dan mengapa digunakan dalam komunikasi kendaraan?
27. Jelaskan pengirisan jaringan?
28. Tentukan perangkat lunak jaringan?
29. Tentukan pemotongan jaringan ujung ke ujung?
30. Tentukan peran SDN dan NFV dalam jaringan slicing?
31. Jelaskan target utama Kebijakan (5G) negara Anda di masa depan?

5.34 Referensi

1. ITU-R 2015. Recommendation ITU-R M.2083-0—IMT Vision—Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond.
2. 5G Americas 2016. Global Organizations Forge New Frontier of 5G—5G Americas 5G Global Update.
3. Zhu, P. 2014. 5G Enabling Technologies An Unified Adaptive Software Defined Air Interface. Keynote Presentation. IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Washington, DC, USA, September 2–5, 2014.
4. Imran, M.A., Al-Imari, M. and Tafazolli, R. 2012. Low Density Spreading Multiple Access. Journal of Information Technology Software Engineering, 2(4):1–2. <http://eprints.gla.ac.uk/136363/1/136363.pdf>
5. Gokhale, A.A. 2004. Introduction to Telecommunications, 2nd edn. Thomson Delmar Learning, Inc., NY, USA.

6. Salehi, M. and Proakis, J.G. 1994. Communications Systems Engineering. Prentice Hall, New Jersey, USA.
7. Asif, S.Z. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
8. Rysavy, P. 2014. Challenges and Considerations in Defining Spectrum Efficiency. Proceedings of the IEEE, 102(3):1–7.
9. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
10. Federal Communications Commission Technological Advisory Council Sharing Work Group 2011. Spectrum Efficiency Metrics, September.
11. 4G Americas 2015. 5G Technology Evolution Recommendations.
12. European Commission/Seventh Framework Program 2015. Document Number: ICT-317669-METIS/ D5.4 Future Spectrum System Concept. Mobile and Wireless Communications Enablers for the TwentyTwenty Information Society (METIS).
13. 3GPP TR 38.804 (V14.0.0) 2017. Study on New Radio Access Technology; Radio Interface Protocol Aspects. Technical Report (Release 14), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March.
14. 5G Americas 2017. LTE to 5G: Cellular and Broadband Innovation. Rysavy Research, LLC.
15. 5G Americas 2016. Mobile Broadband Transformation LTE to 5G. Rysavy Research, LLC.
16. 3GPP TSG-RAN WG1 #84b, R1-162199 2016. Waveform Candidates, Qualcomm Inc., April 11th–15th, Busan, Korea.
17. Nagapuhpa, K.P. and Chitra Kiran, N. 2017. Studying Applicability Feasibility of OFDM in Upcoming 5G Network. Internastional Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8(1):216–226.
18. Krone, S. et al. 2012. Bit Error Rate Performance of Generalized Frequency Division Multiplexing. 2012 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Quebec City, Canada, 3–6 Sept. 2012, pp. 1–5.
19. Du, J. 2008. Licentiate Thesis: Pulse Shape Adaptation and Channel Estimation in Generalized Frequency Division Multiplexing Systems. Royal Institute of Technology (KTH), Electronics and Computer Systems, Stockholm, Sweden.
20. Krone, S. et al. 2012. Generalized Frequency Division Multiplexing: A Flexible Multi-Carrier Modulation Scheme for 5th Generation Cellular Networks. IEEE Transactions on Communications, 62(9):3045–3061.
21. Ding, Z., Peng, M. and Poor, V.H. 2014. Cooperative Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems. Cornell University, arXiv:1410.5846v1 [cs.IT].
22. Saito, Y. et al. 2013. System-Level Performance Evaluation of Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA). 2013 IEEE 24th Internastional Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), London, UK, 11 Sept. 2013, pp. 611–615.
23. Cover, T. and Thomas, J. 1991. Elements of Information Theory, 6th edn. Wiley and Sons, New York.
24. Saito, Y. et al. 2013. Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) for Cellular Future Radio Access. 2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Dresden, Germany, 2–5 June 2013, pp. 1–5.
25. Saito, Y. et al. 2013. Concept and Practical Considerations of Non-orthogonal Multiple Access (NOMA) for Future Radio Access. 2013 Internastional Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems (ISPACS), Naha, Japan, 12–15 Nov. 2013, pp. 770–774.

26. Ding, Z., Yang, Z., Fan, P. and Poor, H.V. 2014. On the Performance of Non-Orthogonal Multiple Access in 5G Systems with Randomly Deployed Users. arXiv:1406.1516v1 [cs.IT].
27. Wild, T. et al. 2013. Universal-Filtered Multi-Carrier Technique for Wireless Systems Beyond LTE. 2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Atlanta, GA, USA, December 9–13, 2013, pp. 223–228.
28. 5GNOW 2015. D3.3—Final 5GNOW Transceiver and frame structure concept, version 1.
29. Wild, T., Schaich, F. and Chen, Y. 2014. Waveform Contenders for 5G—Suitability for Short Packet and Low Latency Transmissions. IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Seoul, South Korea, May 18–21, 2014.
30. European Commission/Seventh Framework Program 2015. Document Number: ICT-317669-METIS/ D2.4 Proposed Solutions for New Radio Access. Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-Twenty Information Society (METIS).
31. European Commission/Seventh Framework Program 2010. INFISO-ICT-211887 FBMC Physical Layer: A Primer. PHYDYAS (Physical Layer For Dynamic Spectrum Access and Cognitive Radio) project.
32. Wild, T. and Schaich, F. 2014. Waveform Contenders for 5G—OFDM vs. FBMC vs. UFMC. 6th IEEE Internastional Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP), Athens, Greece, May 21–23, 2014.
33. Tensubam, B.V. and Singh, S. 2014. A Review on FBMC: An Efficient Multicarrier Modulation System. Internastional Journal of Computer Applications, 98(17):6–9.
34. Razavi, R. et al. 2012. On Receiver Design for Uplink Low Density Signature OFDM (LDS-OFDM). IEEE Transactions on Communications, 60(11):3499–3508.
35. Taherzadeh, M., Nikopour, H., Bayesteh, A. and Baligh, H. 2014. SCMA Codebook Design. IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Vancouver, BC, Canada, September 14–17, 2014.
36. Nikopour, H. et al. 2014. SCMA for Downlink Multiple Access of 5G Wireless Networks. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Austin, TX, USA, December 8–12.
37. Nikopour, H. et al. 2014. Uplink Contention Based SCMA for 5G Radio Access. 2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Austin, TX, USA, December 8–12.
38. Huawei 2015. 5G: New Air Interface and Radio Access Virtualization.
39. Qualcomm Technologies Inc. 2015. 5G Waveform & Multiple Access Techniques.
40. Joseph, M. III 1999. Cognitive Radio Model-Based Competence for Software Radios. Thesis (submitted to the Royal Institute of Technology in partial fulfillment of the requirements for the Licentiate of Technology degree).
41. Joseph, M. III and Gerald, Q.M. Jr. 1999. Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal. IEEE Personal Communications, 6(4):13–18.
42. Federal Communications Commission 2003. FCC 03-322 Notice of Proposed Rule Making and Order: Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies. ET Docket No. 03-108. Washington DC, USA.
43. Ian, F.A., Won-Yeol, L., Mehmet, C.V. and Shantidev, M. 2006. NeXt Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey. Elsevier Computer Networks, 50(2006):2127–2159.
44. IEEE Std 802.22-2011 2011. IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems Wireless Regional Area Networks (WRAN)—Specific requirements; Part 22: Cognitive Wireless RAN

- Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands IEEE, July.
45. IEEE Std 802.11af 2013. IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 5: Television White Spaces (TVWS) Operation, IEEE, December.
 46. IEEE Standards Association. IEEE 1900.1 Working Group on “Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management”. <http://grouper.ieee.org/groups/dyspan/1/index.htm>
 47. Zhou, H. et al. 2017. Dynamic Sharing of Wireless Spectrum. Springer Internastional Publishing AG, Cham, Switzerland.
 48. Khattab, A. and Bayoumi, M.A. 2015. An Overview of IEEE Standardization Efforts for Cognitive Radio Networks. IEEE Internastional Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Lisbon, Portugal, May 24–27, 2015.
 49. IEEE Std 802.15.4m 2014. IEEE Standard for Information Local and Metropolitan Area Networks— Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)—Amendment 6: TV White Space between 54 MHz and 862 MHz Physical Layer, IEEE, April.
 50. IEEE Std 802.19.1 2014. 802.19.1-2014—IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 19: TV White Space Coexistence Methods, IEEE, May.
 51. RFC 7545 2015. Protocol to Access White-Space (PAWS) Databases, IETF, May.
 52. ETSI. Reconfigurable Radio. <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/reconfigurable-radio>
 53. ETSI TR 102 682 V1.1.1 2009. Reconfigurable Radio Systems (RRS); Functional Architecture (FA) for the Management and Control of Reconfigurable Radio Systems. Technical Report. ETSI, July.
 54. ETSI TR 102 683 V1.1.1 2009. Reconfigurable Radio Systems (RRS); Cognitive Pilot Channel (CPC). Technical Report. ETSI, September.
 55. ITU-R 2009. Report ITU-R SM.2152 Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS), September.
 56. ITU-R 2011. Report ITU-R M.2242 Cognitive Radio Systems Specific for Internastional Mobile Telecommunications Systems, November.
 57. ITU-R 2012–2015. Resolution ITU-R 58-1 Studies on the Implementation and Use of Cognitive Radio Systems.
 58. ITU Radiocommunication Bureau 2017. Preparations for CPM19-2, RA-19 and WRC-19 (including outcome of RA-15 and WRC-15).
 59. Friedrich, K.J. 2005. Software-Defined Radio-Basics and Evolution to Cognitive Radio. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 3:275–283.
 60. Matteo, C., Francesca, C. and Eylem, E. 2010. Routing in Cognitive Radio Networks: Challenges and Solutions. Elsevier Ad Hoc Networks, 9(3):228–248, doi:10.1016/j.adhoc.2010.06.009.
 61. Ian, F.A., Won-Yeol, L. and Kaushik, R.C. 2009. Spectrum Management in Cognitive Radio Ad Hoc Networks. IEEE Network, 23(4):6–12.
 62. Ammar, M. et al. 2014. Survey: A Comparison of Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio. IIE Internastional Conference Image Processing. Computers and

- Industrial Engineering (ICICIE'2014), Kuala Lumpur, Malaysia, January 15–16, 2014, pp. 65–69.
63. Vakil, M. and Nagamani, K. 2017. Cognitive Radio Spectrum Sensing—A Survey. *Internastional Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER)*, 3(2):45–50.
 64. Sun, H. et al. 2013. Wireless Spectrum Sensing for Cognitive Radio Networks: A Survey. *IEEE Wireless Communications*, 20(2):74–81.
 65. Patil, H., Patil, A.J. and Bhirud, S.G. 2015. Multichannel Cooperative Sensing in Cognitive Radio: A Literature Review. *Internastional Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(5), 425–429.
 66. Letaief, K.B. and Zhang, W. 2009. Cooperative Communications for Cognitive Radio Networks. *Proceedings of the IEEE*, 97(5):878–893.
 67. Ganesan, G. and Li, Y. 2005. Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks. *First IEEE Internastional Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, (DySPAN 2005)*, November 8–11, 2005.
 68. Tang, H. 2005. Some Physical Layer Issues of Wide-Band Cognitive Radio System. *First IEEE Internastional Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, (DySPAN 2005)*, November 8–11, 2005.
 69. Ramchandran, K. and Wild, B. 2005. Detection Primary Receivers for Cognitive Radio Applications. *First IEEE Internastional Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, (DySPAN 2005)*, November 8–11, 2005.
 70. GSMA 2014. *The Impact of Licensed Shared Use of Spectrum*. Report by Deloitte and Real Wireless.
 71. Hossain, E., Niyato, D. and Kim, D.I. 2013. Evolution and Future Trends of Research in Cognitive Radio: A Contemporary Survey. *Wireless Communications And Mobile Computing*, 15: 1530–1564 doi:10.1002/wcm.2443, John Wiley & Sons, Ltd.
 72. Dano, M. 2016. CTIA Wants to Oversee Spectrum Sharing in the 3.5 GHz Band. *Questex LLC (FierceWireless)*. <http://www.fiercewireless.com/wireless/ctia-wants-to-oversee-spectrum-sharing-3-5-ghz-band>
 73. Lowenstein, M. 2016. 3.5 GHz Spectrum: An Opportunity for the U.S. to Lead in Wireless Innovation. *Gerben Law Firm, PLLC (Tech.pinions)*. <https://techpinions.com/3-5-ghz-spectrum-an-opportunity-forthe-u-s-to-lead-in-wireless-innovation/46514>
 74. Plum 2015. *Global Momentum and Economic Impact of the 1.4/1.5 GHz Band for IMT*. A Report for GSMA.
 75. Schaubach, K. 2017. *The Technology Behind Spectrum Sharing: The Spectrum Access System*. CBRS Alliance. <https://www.cbrsalliance.org/single-post/2017/06/02/The-Technology-Behind-SpectrumSharing-The-Spectrum-Access-System>
 76. China Mobile Research Institute 2011. *C-RAN The Road Towards Green RAN*.
 77. Webb, R. 2017. *New Frontiers in C-RAN Fronthaul: to CPRI, or to not CPRI?* IHS Market.
 78. Yan, Y. et al. 2015. Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(1):405–426.
 79. Ericsson, A.B., Huawei Technologies Co. Ltd, NEC Corporation, Alcatel Lucent, and Nokia Networks 2015. *CPRI Specification V7.0—Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification*.
 80. Wang, X. et al. 2016. Energy-Efficient Virtual Base Station Formation in Optical-Access-Enabled CloudRAN. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(5):113–1139.

81. China Mobile Research Institute, Alcatel-Lucent, Nokia Networks, ZTE Corporation, Broadcom Corporation, Intel China Research Center 2015. White Paper of Next Generation Fronthaul Interface Version 1.0.
82. Wu, J., Zhang, Z., Hong, Y. and Wen, Y. 2015. Cloud Radio Access Network (C-RAN): A Primer. *IEEE Network*, 29(1):35–41.
83. Bendlin, R. et al. 2012. Embracing LTE-A with KeyStone SoCs. Texas Instruments Inc, Dallas, TX, USA.
84. Allevin, M. 2016. IHS: China Fuels \$5B C-RAN Market. Questex LLC (FierceWireless). <http://www.fiercewireless.com/tech/ihs-china-fuels-5b-c-ran-market>
85. Teral, S. 2016. Research Note—China Now Fueling a \$5 Billion Centralized RAN Market. <https://technology.ihs.com/580929/research-note-china-now-fueling-a-5-billion-centralized-ran-market>
86. 5G Americas 2016. V2X Cellular Solutions.
87. ITS Standards Advisory 2003. Dedicated Short Range Communications (DSRC). Advisory No. 3. United States Department of Transportation. https://web.archive.org/web/20130216162616/http://www.standards.its.dot.gov/Documents/advisories/dsrc_advisory.htm
88. ITS Standard Program 2009. ITS Standards Fact Sheet: IEEE 1609—Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE). United States Department of Transportation. <https://www.standards.its.dot.gov/factsheets/factsheet/80>
89. Imad, J., Nader, M. and Liren, Z. 2010. Inter-Vehicular Communication Systems, Protocols and Middleware. IEEE Fifth International Conference on Networking, Architecture and Storage, Macau, China, 15–17 July 2010, pp. 282–287.
90. Vaishali, D.K. and Pradhan, S.N. 2012. V2V Communication Survey—(Wireless Technology). *International Journal Computer Technology & Applications*, 3(1):370–373.
91. Mar, B., Walter, J.F. and Lars, W. 2003. Mobile Internet Access in FleetNet. *Kommunikation in Verteilten Systemen*, 107–118.
92. Andreas, F. et al. 2004. FleetNet: Bringing Car-to-Car Communication Into the Real World. 11th World Congress on ITS, Nagoya, Aichi, Japan, 18–22 October 2004.
93. Panos, P. et al. 2009. Vehicular Communication Systems: Enabling Technologies, Applications, and Future Outlook on Intelligent Transportation. *IEEE Communications Magazine*, 47(11):84–95.
94. 3GPP TR 22.885 (V14.0.0) 2015. Study on LTE Support for Vehicle to Everything (V2X) Services. Technical Report (Release 14), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, December.
95. 3GPP TS 22.185 (V14.3.0) 2017. Service Requirements for V2X Services; Stage 1. Technical Specification (Release 14), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
96. 3GPP TSG-RAN Meeting #73, RP-161894 2016. LTE-based V2X Services, September 19–22, New Orleans, LA, USA.
97. Flore, D. 2016. Initial Cellular V2X Standard Completion. 3GPP. http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1798-v2x_r14
98. 5G Automotive Association 2016. The Case for Cellular V2X for Safety and Cooperative Driving.
99. Qualcomm Technologies, Inc. 2016. The Path to 5G: Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X).
100. IEEE Std 802.11p-2010 2010. IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems—Local and

- Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications—Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments. IEEE, June.
101. IEEE Standards Association 2017. 1609 WG—Dedicated Short Range Communication Working Group. https://standards.ieee.org/develop/wg/1609_WG.html
 102. Lansford, J. 2016. The Connected Car: From the Highway to the Cloud. Qualcomm Technologies, Inc, San Diego, CA, USA. 103.
 103. 3GPP TR 36.786 (V14.0.0) 2017. Vehicle-to-Everything (V2X) Services Based on LTE; User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception. Technical Report (Release 14), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March.
 104. 3GPP TR 22.886 (V15.1.0) 2017. Study on Enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services. Technical Report (Release 15), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
 105. RF Wireless World 2012. IEEE 802.11p tutorial-802.11p, WAVE, DSRC Protocol Stack. <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/802-11p-WAVE-tutorial.html>
 106. Miucic, R. and Al-Stouhi, S. 2016. Absolute Localization via DSRC Signal Strength. IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Montreal, QC, Canada, September 18–21, 2016.
 107. National Highway Traffic Safety Administration—NHTSA 2016. U.S. DOT Advances Deployment of Connected Vehicle Technology to Prevent Hundreds of Thousands of Crashes. <https://www.nhtsa.gov/press-releases/us-dot-advances-deployment-connected-vehicle-technology-prevent-hundreds-thousands>
 108. 5G-PPP 2016. View on 5G Architecture. 5G PPP Architecture Working Group, July.
 109. Lorca, J. et al. 2017. Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures and Challenges. IEEE Communications Magazine, 55(5):80–87.
 110. Zhou, C. et al. 2016. On End to End Network Slicing for 5G Communication Systems. Transactions On Emerging Telecommunications Technologies, DOI: 10.1002/ett.3058.
 111. Taleb, T. et al. 2017. End-to-End Network Slicing for 5G Mobile Networks. Journal of Information Processing, 25:153–163.
 112. 5G Americas 2016. Network Slicing for 5G Networks & Services.
 113. Ericsson 2014. Network Functions Virtualization and Software Management.
 114. 3GPP TR 23.799 (V2.0.0) 2016. Study on Architecture for Next Generation System. Technical Report (Release 14), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, November.
 115. Li, Q., Wu, G., Papathanassiou, A. and Mukherjee, U. 2016. An End-to-End Network Slicing Framework for 5G Wireless Communication Systems. Cornell University Library, Ithaca, NY, USA. arXiv:1608.00572v1.
 116. Open Network Foundation 2016. TR-526 Applying SDN Architecture to 5G Slicing. Issue 1.
 117. ETSI GS NFV 002 (V1.1.1) 2013. Network Functions Virtualisation (NFV); Architectural Framework, ETSI, October.
 118. ETSI GS NFV 003 (V1.1.1) 2013. Network Functions Virtualisation (NFV); Terminology for Main Concepts in N FV, ETSI, October
 119. ETSI GS NFV-MAN 001 (V1.1.1) 2014. Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration, ETSI, December.
 120. 3GPP TR 32.842 (V13.1.0) 2015. Telecommunication Management; Study on Network Management of Virtualized Networks. Technical Report (Release 13), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, December.

121. ETSI GS NFV-INF 001 (V1.1.1) 2015. Network Functions Virtualisation (NFV); Infrastructure Overview, ETSI, January.
122. Open Network Foundation 2015. TR-518 Relationship of SDN and NFV. Issue 1.
123. Allevan, M. 2017. SK, Deutsche Telekom, Ericsson Demo Network Slicing for 5G Roaming. Questex LLC (FierceWireless). <http://www.fiercewireless.com/tech/sk-deutsche-telekom-ericsson-demonetwork-slicing-for-5g-roaming>
124. GSMA 2016. Country Overview: Pakistan—A Digital Future.
125. GSMA 2016. Digital Inclusion and Mobile Sector Taxation 2016.
126. GSMA 2015. Digital Inclusion and Mobile Sector Taxation 2015.
127. Gibbs, C. 2017. Public Policy Will Lay the Foundation for 5G and Beyond. Questex LLC (FierceWireless). <http://www.fiercewireless.com/wireless/public-policy-will-lay-foundation-for-5g-and-beyond>
128. ITU-R 2015. Report of the Conference Preparatory Meeting on Operat

BAGIAN III

BAB 6

SEMIKONDUKTOR DALAM TELEKOMUNIKASI SELULER

Industri telekomunikasi seluler sangat bergantung pada kemajuan semikonduktor dan juga merupakan salah satu faktor pendorong di belakangnya. Menurut IHS Technology, pasar semikonduktor di seluruh dunia tumbuh sebesar 9,2% pada tahun 2014 yang merupakan tingkat pertumbuhan tahunan tertinggi sejak ledakan 33% tahun 2010^[1]. Pada catatan yang sama, pasar semikonduktor global diperkirakan tumbuh dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan sebesar 7,67% dari 2017 hingga 2024^[2]. Sekarang diterima secara luas bahwa produk konsumen seperti smartphone dan tablet menyumbang lebih dari 50% dari permintaan semikonduktor^[3].

Saat ini, prosesor aplikasi seluler beroperasi pada 5%–10% dari daya komputasi laptop biasa, namun, kesenjangan ini berkurang dengan cepat karena peningkatan eksponensial dalam penggunaan smartphone dan perangkat yang terhubung untuk game seluler, video seluler, dan sebagainya. Demikian pula, konsumsi energi smartphone juga lebih rendah daripada laptop dengan faktor 10–30 kali lipat. Peningkatan persyaratan kinerja tanpa henti, pergeseran cepat dari handset tradisional ke smartphone dan perangkat yang terhubung, dan peningkatan IoT telah mengurangi kesenjangan konsumsi energi ini dan menghadirkan sejumlah tantangan bagi industri semikonduktor. Selain perangkat genggam, semikonduktor juga digunakan dalam desain modul stasiun pangkalan, node optik, dan router, yang merupakan elemen penting dari jaringan nirkabel bergerak.

Bab ini akan membahas topik-topik berikut, menyoroti penerapannya pada komunikasi seluler dan nirkabel dan dimulai dengan latar belakang singkat tentang semikonduktor yang akan bermanfaat bagi pembaca.

- Latar Belakang
- Sirkuit RF, Analog/Sinyal Campuran (RFAMS) dan Gelombang Milimeter (MMW)
- Contoh RF dan MMW—Komponen Seluler dan Jaringan
- Sistem Elektro-Mekanik Mikro
- Internet of Things—mesin pertumbuhan berikutnya untuk semikonduktor

6.1 Latar Belakang

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki konduktivitas listrik antara konduktor, seperti tembaga, dan isolator, seperti kaca. Semikonduktor membentuk dasar elektronik modern, termasuk transistor, sel surya, sirkuit terpadu digital dan analog, dan banyak item lainnya. Semikonduktor seperti silikon, germanium, dan senyawa galium paling banyak digunakan dalam elektronika termasuk peralatan telekomunikasi^[4].

Silikon termasuk dalam golongan 14 tabel periodik dan memiliki empat elektron valensi. Silikon adalah elemen kedelapan yang paling umum di alam semesta berdasarkan massa, namun jarang ditemukan dalam bentuk elemen bebas murni. Ini paling banyak ditemukan di debu dan pasir, yang merupakan berbagai bentuk silikon dioksida (silika) atau silikat. Sesuai perkiraan, lebih dari 90% kerak bumi terdiri dari mineral silikat, menjadikan silikon sebagai elemen paling melimpah kedua di kerak bumi (sekitar 28% berdasarkan massa) setelah oksigen. Dengan kelimpahan skala luas dan sifat kimia yang hebat, silikon dianggap sebagai pilihan yang sangat baik untuk sirkuit terpadu.

Germanium juga termasuk dalam kelompok 14 dan seperti silikon bereaksi dan membentuk kompleks dengan oksigen di alam. Ini peringkat hampir lima puluh dalam kelimpahan relatif dari unsur-unsur di kerak bumi. Gallium berada dalam kelompok 13 dari tabel periodik dan terutama digunakan dalam elektronik^[4].

Sirkuit terpadu adalah seperangkat sirkuit elektronik pada pelat kecil (chip) bahan semikonduktor. Sirkuit terpadu dapat diklasifikasikan menjadi analog (seperti sirkuit manajemen daya), digital (seperti mikroprosesor), dan sinyal campuran (baik analog maupun digital pada chip yang sama seperti konverter analog/digital). Pengembangan IC adalah proses yang panjang, dari pengembangan bahan semikonduktor hingga perancangan, fabrikasi, pengujian, perakitan, dan kemudian pengemasan^[4].

Fabrikasi perangkat semikonduktor, yang merupakan bagian paling mahal dari seluruh rangkaian peristiwa, terdiri dari ratusan langkah proses berurutan untuk membuat IC^[5]. Tanpa merinci, seluruh proses manufaktur memakan waktu enam hingga delapan minggu dan dilakukan (simpul teknologi) di fasilitas yang sangat khusus yang disebut fabs (pengecoran). Proses manufaktur semikonduktor diukur dalam mikrometer (μm) atau nanometer (nm), yang berdiri pada 10 nm (10 nanometer) selama 2017–2018.

Secara historis, perusahaan semikonduktor mengendalikan seluruh proses produksi mulai dari desain hingga manufaktur. Namun, kompleksitas, biaya, dan waktu yang lebih cepat untuk tren pasar telah menggeser prioritas dan perusahaan chip menjadi lebih ramping dan lebih efisien. Jadi, sekarang kami memiliki IDM (Integrated Device Manufacturers), perusahaan semikonduktor fabless, pengecoran semikonduktor, dan pengembang inti kekayaan intelektual. Penjelasan singkat tentang hal-hal tersebut sebagai berikut:

1. IDM mendesain, membuat, mengemas, dan menjual, yaitu menjalankan seluruh proses sendiri. Perusahaan seperti IBM, Samsung, dan beberapa lainnya termasuk dalam kategori ini.
2. Kedua adalah perusahaan semikonduktor fabless yang merancang dan menjual perangkat / chip semikonduktor perangkat keras, namun, mereka mengalihdayakan fabrikasi ke produsen khusus, yaitu pengecoran semikonduktor. Qualcomm, Broadcom, dan sebagainya adalah perusahaan fabel.
3. Pengecoran semikonduktor (atau hanya fab) adalah pabrik fabrikasi di mana IC diproduksi; ini adalah kategori ketiga. Fabs membuat desain perusahaan lain, seperti perusahaan semikonduktor fabless. Pengecoran terutama ditemukan di Cina, Prancis, Jerman, Irlandia, Jepang, Malaysia, Singapura, Taiwan, dan A.S.
4. Kategori keempat terdiri dari pengembang inti, perancang, dan pemberi lisensi semikonduktor inti kekayaan intelektual. Inti IP (kekayaan intelektual) atau blok IP adalah unit desain tata letak chip yang dapat digunakan kembali yang merupakan kekayaan intelektual satu pihak dan dapat dilisensikan kepada pihak lain. Inti IP (kekayaan intelektual) adalah blok logika atau data yang digunakan dalam membuat larik gerbang yang dapat diprogram lapangan (FPGA) atau sirkuit terintegrasi khusus aplikasi (ASIC) untuk suatu produk. ARM Holdings, PLC, dan Cadence Design Systems adalah perusahaan kunci dalam kategori ini^[4,6].

6.2 RF, Analog/Mixed-Signal (AMS) dan Sirkuit MMW

Frekuensi radio dan sirkuit analog/sinyal campuran (RF dan AMS atau hanya RFAMS) adalah faktor penting yang memungkinkan komunikasi nirkabel dan kabel yang ada dan diharapkan akan terus berlanjut untuk IoT di masa depan. Sirkuit RF dan AMS ini menangani pasar 0,4–30

GHz yang terutama mencakup seluler seluler, broadband, dan LAN nirkabel. Selanjutnya, produk komunikasi yang mendukung aplikasi seperti pencitraan radar, radar otomotif (24/77 GHz), radio point to point (70/80 GHz), pertahanan, dan keamanan semuanya memiliki fungsionalitas yang diaktifkan oleh RF, AMS, dan MtM (Lebih dari sirkuit Moore²⁰). Dapat dicatat bahwa ponsel dan tablet 4G sekarang memiliki konten semikonduktor RF dan AMS yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hanya 5% dari pasar beberapa tahun yang lalu^[3,7]. Menurut^[8], iPad terkenal memiliki lebih dari 19 komponen front-end RF dan AMS.

Silikon adalah semikonduktor yang paling umum digunakan dalam pengembangan banyak komponen RF dan AMS. Senyawa semikonduktor seperti GaAs (gallium arsenide) untuk power amplifier, dan paduan seperti SiGe (silicon-germanium) untuk low-noise amplifier (LNA) dan mixer juga umum. Amplifier daya memperkuat sinyal kuat dari sirkuit elektronik sementara LNA memperkuat sinyal yang sangat lemah dari antena dalam sistem nirkabel. Kedua komponen ini sangat penting untuk keberhasilan sistem komunikasi nirkabel. Biaya yang terkait dengan pemrosesan SiGe serupa dengan biaya pembuatan silikon CMOS (Complementary Metal Oxides Semiconductor) tetapi lebih rendah dari GaAs^[4]. Terlepas dari itu, pemilihan semikonduktor mencakup sejumlah metrik kinerja seperti biaya wafer (iris tipis/substrat bahan semikonduktor), tingkat integrasi, volume, dan waktu ke pasar.

Empat subkelompok perangkat teknologi utama yang membangun sirkuit terpadu RF dan AMS menurut Peta Jalan Teknologi Internasional untuk Semikonduktor meliputi^[3,9].

6.3 RF CMOS

Sebagian besar nilai semikonduktor pada ponsel berasal dari CMOS^[10]. CMOS adalah teknologi yang digunakan dalam pembuatan sirkuit terpadu digital dan analog. CMOS menggunakan pasangan komplementer dan simetris dari transistor efek medan semikonduktor oksida logam tipe-p dan tipe-n (MOSFET) untuk fungsi logika^[4]. Transistor MOSFET digunakan untuk memperkuat atau mengganti sinyal elektronik. Penggerak utama untuk CMOS adalah transceiver seluler dalam rentang frekuensi 0,4 GHz–30 GHz.

6.4 Group IV Silicon Bipolar dan BiCMOS

Seperti namanya, BiCMOS adalah sirkuit terintegrasi yang mengintegrasikan transistor persimpangan bipolar (BJT) dan transistor CMOS dalam satu sirkuit terintegrasi. Transistor bipolar memberikan kecepatan dan penguatan tinggi yang penting untuk bagian analog frekuensi tinggi, sementara CMOS lebih unggul dalam membangun gerbang logika digital berdaya rendah. Transistor bipolar persimpangan hetero Si/SiGe adalah transistor bipolar utama untuk aplikasi sinyal analog dan campuran. Transistor bipolar NPN dan PNP* tegangan tinggi digunakan dalam aplikasi yang beroperasi di bawah 5 GHz. Ini termasuk penguat daya seluler dan WLAN serta penguat daya operasional. Aplikasi utama transistor NPN kecepatan tinggi termasuk konverter analog ke digital, WLAN 60 GHz, dan produk Ethernet 40/100 Gb/s, sedangkan sirkuit PNP tinggi digunakan dalam amplifier operasional.

6.5 Group III-V Komponen Semikonduktor

Semikonduktor senyawa terdiri dari unsur-unsur dari kelompok III dan V yang digunakan baik dalam bipolar dan FET (transistor efek medan). Silikon terutama digunakan untuk RF, microwave, dan aplikasi sinyal campuran karena biaya rendah dan kemampuan densitas

²⁰ BJT dibentuk oleh dua sambungan P-N untuk penguatan arus listrik. Transistor NPN dibentuk dengan mengapit daerah tipis tipe-P antara dua wilayah bahan tipe-N dan sebaliknya untuk transistor PNP.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

integrasi yang lebih baik. Driver untuk perangkat grup III-IV didasarkan pada aplikasi yang membutuhkan hasil tinggi (kemampuan manufaktur), efisiensi dan jangkauan dinamis yang lebih tinggi, dan kinerja noise yang lebih rendah seperti amplifier daya yang digunakan dalam aplikasi komunikasi. Senyawa semikonduktor kunci yang dapat mencapai target tersebut adalah galium arsenida (GaAs) dan galium nitrida (GaN).

MOSFET berbasis grup III-V memiliki mobilitas yang lebih baik dibandingkan dengan yang berbasis silikon dan yang telah mendorong lebih dari 40 tahun R&D. Upaya saat ini pada kelompok III-V MOSFET melampaui GaAs dan dapat dibagi lagi menjadi berdasarkan arsenida, fosfida, nitrida, dan antimonida. Senyawa ini memiliki rentang celah pita yang lebar²¹ dan mobilitas pembawa, sehingga cocok untuk sistem nirkabel.

GaAs dan GaN adalah senyawa semikonduktor dengan mobilitas elektron yang lebih tinggi daripada silikon sehingga lebih cocok pada frekuensi yang lebih tinggi. GaAs dan GaN adalah senyawa semikonduktor kunci untuk banyak aplikasi RF/microwave seperti sakelar dan power amplifier^[11].

GaAs cenderung dua generasi di belakang Si dalam ukuran wafer, sedangkan substrat InP (indium phosphide) dan SiC (silikon karbida) satu generasi di belakang GaAs. Sangat penting bagi industri semikonduktor majemuk untuk menjaga ukuran substrat dengan kemajuan silikon untuk mendapatkan manfaat dari pencapaian dalam pemrosesan manufaktur. GaN bergantung pada SiC sebagai substrat host yang membuka kemungkinan fabrikasi sirkuit GaN dalam pengecoran silikon serta integrasi heterogen amplifier GaN dengan sirkuit kontrol Si CMOS. GaN-on-SiC menawarkan kinerja yang lebih baik dan keandalan yang lebih tinggi untuk power amplifier.

GaN memiliki kerapatan daya empat hingga lima kali lebih besar dari LDMOS yang tertanam silikon (Laterally Diffused MOSFET). Jadi, dengan tingkat daya ini, kapasitansi perangkat GaN HEMT (High-Electron-Mobility Transistor) juga jauh lebih rendah, memberikan kemampuan untuk meningkatkan bandwidth seketika tanpa kehilangan efisiensi yang merupakan kunci untuk LTE/4G dan sistem 5G masa depan. LDMOS di sisi lain masih merupakan perangkat utama untuk penguat daya RF di stasiun pangkalan sistem komunikasi nirkabel. Selain itu, GaN-on-SiC, yang merupakan andalan teknologi GaN, efektif untuk kepala radio jarak jauh, stasiun pangkalan multi-standar dan multi-frekuensi, sel pico dan femto, dan untuk bandwidth yang lebih besar di mana Si LDMOSFET tidak cocok^[9,12].

6.6 Perangkat Pasif On-Chip

Elemen pasif termasuk terdistribusi dan disamakan sangat penting untuk sistem analog dan RF. Elemen pasif yang didistribusikan termasuk saluran transmisi, pandu gelombang dan antena, dan elemen yang disatukan yang terdiri dari induktor, transformator, kapasitor linier dan variabel (varactor), dan resistor. Elemen pasif yang disatukan terutama digunakan dalam aplikasi analog frekuensi rendah (dari DC hingga 0,4 GHz) dan RF (0,4–30 GHz). Elemen pasif terdistribusi lebih sering digunakan untuk aplikasi gelombang mikro dan milimeter^[13].

6.7 Contoh (RFAMS)

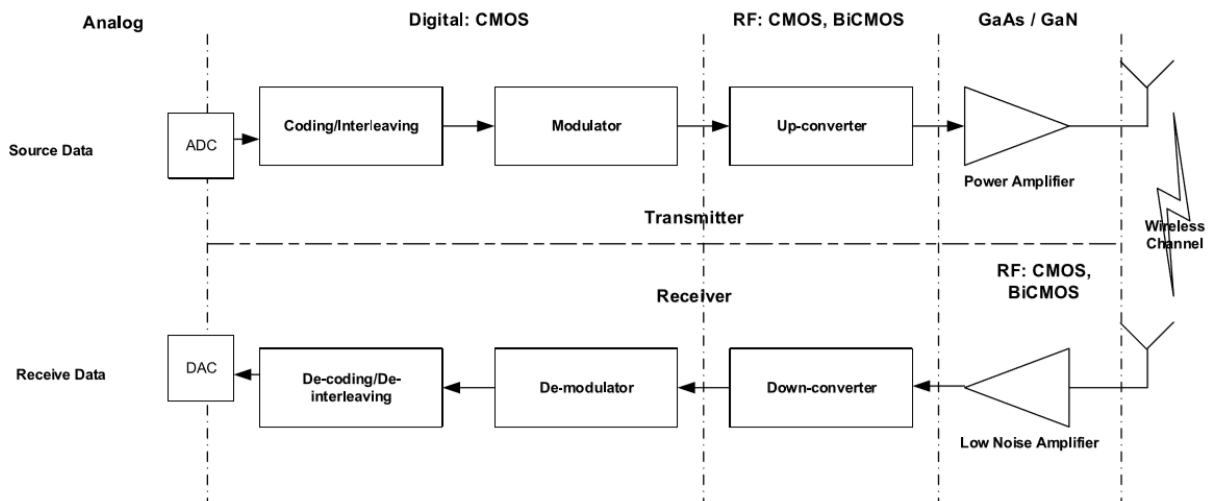
²¹ Celah pita atau celah energi mengacu pada perbedaan energi antara bagian atas pita valensi dan bagian bawah pita konduksi pada isolator dan semikonduktor [4].

Bagian ini akan menjelaskan secara singkat penggunaan berbagai rangkaian FARM di beberapa peralatan dan komponen jaringan utama seperti transceiver, power amplifier, dan sel surya.

6.8 Pemancar

Transceiver adalah perangkat yang mentransmisikan dan menerima berbagai bentuk sinyal menggunakan sirkuit umum. Jaringan dan perangkat seluler menggunakan transceiver yang menyediakan transmisi dan penerimaan secara bersamaan tetapi pada frekuensi yang terpisah, yaitu dalam mode dupleks penuh.

Transceiver di base station dan perangkat genggam disematkan dengan prosesor ARM (Advanced RISC²² Machine). ARM pada dasarnya adalah arsitektur prosesor 32-bit yang hadir secara luas di perangkat seluler dunia. ARM, sebuah perusahaan yang berbasis di Inggris, mengembangkan set instruksi dan arsitektur inti prosesor, tetapi tidak memproduksi prosesor. Arsitektur menjelaskan aturan bagaimana mikroprosesor akan berperilaku, tetapi tanpa membatasi atau menentukan bagaimana mikroprosesor akan dibangun. Arsitektur mikroprosesor mendefinisikan set instruksi prosesor, model programmer, dan bagaimana prosesor berinteraksi dengan sumber daya memori terdekat. Karakteristik daya yang rendah, bandwidth data yang tinggi, dan kemampuan pemrosesan media yang digabungkan dengan inti berkinerja tinggi membuat arsitektur mikro ARM sangat cocok untuk jaringan, nirkabel, dan aplikasi konsumen lainnya^[14-16].



Gambar 6.1 Diagram blok generik transceiver RF. (Dari Richard, MS 2005. SiGe BiCMOS RF IC dan komponen untuk jaringan data nirkabel berkecepatan tinggi. Disertasi diserahkan ke Fakultas Institut Politeknik Virginia dan Universitas Negeri; Razavi, B. 1997. RF Electronics. Prentice-Hall, Inc, NJ, AS^[17,18].)

6.8.1 Bahan dan Teknologi untuk Transceiver

CMOS adalah teknologi pilihan untuk transceiver seluler yang beroperasi pada rentang frekuensi 0,4–30 GHz menggunakan silikon. Bipolar dan BiCMOS telah menjadi teknologi kunci untuk transceiver nirkabel dalam rentang 0,4 GHz hingga 5 GHz, namun, kecenderungan saat ini adalah menuju RFCMOS juga menggunakan silikon^[9]. RFCMOS adalah biaya rendah, teknologi proses digital volume tinggi yang menggunakan lebih sedikit daya dan menghasilkan

²² Komputer Set Instruksi yang Dikurangi.

lebih sedikit panas dibandingkan dengan teknologi pemrosesan lainnya. Dengan demikian, ini memungkinkan lebih banyak fungsi, seperti komponen RF dan pita dasar, untuk diintegrasikan ke dalam satu chip.

Gambar 6.1 menunjukkan diagram blok transceiver RF generik (pemancar dan penerima) yang ditandai oleh teknologi IC dan tipe sirkuit (RF, analog atau digital). Komponen digital diimplementasikan dalam CMOS sedangkan area RF di pemancar dan penerima dapat diimplementasikan dengan opsi teknologi yang berbeda termasuk CMOS. Meskipun penggunaan beberapa teknologi tidak hemat biaya, secara tradisional telah digunakan untuk memenuhi persyaratan kinerja yang ketat dari standar komunikasi nirkabel. Sebaliknya, SoC²³ menawarkan alternatif berbiaya rendah dan berdaya rendah di mana semua fungsi diintegrasikan ke dalam satu paket/chip menggunakan teknologi tunggal.

6.8.2 Pemancar LTE/4G

Transceiver LTE dan LTE-Advanced (4G) harus memenuhi persyaratan yang lebih ketat daripada pendahulunya. Ini termasuk multi-band (40 ditambah pita frekuensi), multi-mode (FDD, TDD), agregasi operator (dalam 4G), dan sebagainya. Transceiver berbasis CMOS untuk LTE dapat terdiri dari penerima ganda untuk keragaman antena, konverter digital ke analog dan analog ke digital, D4G untuk LTE/3G/2G, dan D3G²⁴ untuk standar 3G/2G^[19], mikroprosesor ARM7 untuk urutan/ kontrol perangkat keras, dan API (antarmuka pemrograman aplikasi) untuk waktu pengembangan platform radio yang lebih cepat. Dalam kebanyakan kasus, penerima (dalam transceiver LTE) tidak memiliki filter SAW (gelombang akustik permukaan) dan LNA eksternal (penguat derau rendah), yang mengurangi jumlah komponen dan jejak^[20,21].

6.9 Power Amplifier RF

Penguat daya RF adalah jenis penguat elektronik yang digunakan untuk mengubah sinyal frekuensi radio berdaya rendah menjadi sinyal dengan daya signifikan yang dapat ditransmisikan melalui jarak yang lebih jauh. Power amplifier biasanya dirancang untuk aplikasi atau standar tertentu (misalnya radio gelombang mikro point-to-point, LTE, dll.)^[22].

Dalam BTS seluler yang beroperasi dalam kisaran 400 MHz hingga 3,5 GHz yang membutuhkan 100/200 watt, penguat daya biasanya dihubungkan secara paralel untuk memberikan penguatan akhir pada sinyal data untuk mencapai daya keluaran yang diinginkan. Transistor LDMOS silikon adalah standar de facto untuk Penguat Daya (PA) seperti itu karena jatuh tempo dan biaya rendah. GaN terus membuat terobosan karena memiliki kepadatan daya empat hingga lima kali lebih tinggi daripada LDMOS. GaN mungkin lebih menguntungkan daripada LDMOS di kelas arsitektur PA efisiensi tinggi tertentu seperti Doherty. Sirkuit yang dirancang untuk arsitektur Doherty mungkin tidak bekerja dengan baik dalam arsitektur PA pelacakan amplop sinyal input. Selain itu, peningkatan nonstop dalam rentang frekuensi operasi dan skema modulasi yang diperkirakan akan diperparah dengan 5G juga perlu dipertimbangkan.

Dalam perangkat komunikasi portabel yang khas, Si digunakan sebagai chip manajemen daya sedangkan HBT GaAs (transistor bipolar heterojunction—transistor bipolar terdiri dari

²³ System on chip memberikan pilihan untuk menggabungkan beberapa teknologi untuk membentuk satu (subsistem) yang lengkap. SoC adalah IC tunggal yang terhubung di dalam satu paket yang didedikasikan untuk aplikasi tertentu..

²⁴ Spesifikasi DigRF mendefinisikan antarmuka antara satu atau lebih baseband IC dan RFIC (Radio Frequency Integrated Circuits) dalam satu terminal. D3G dan D4G adalah antarmuka digital standar terbuka.

setidaknya dua semikonduktor) digunakan untuk chip penguat daya. Berlawanan dengan stasiun pangkalan, chip PA dalam unit portabel biasanya perlu menyediakan daya RF 1-4 watt ke antena. Namun, tantangan bagi vendor PA terkait dengan tegangan baterai yang habis masa pakainya di unit komunikasi portabel. PA tidak hanya perlu mengakomodasi pengisi daya 4 V hingga 5 V, tetapi juga beroperasi pada tegangan yang lebih rendah seperti 2,4 V.

Jadi, baik untuk BTS maupun telepon seluler, angka-angka yang disebutkan di atas perlu dipahami untuk meningkatkan efisiensi power amplifier.

6.9.1 Bahan dan Teknologi untuk PA

Semikonduktor senyawa Grup III-V GaAs dan GaN terutama digunakan dalam power amplifier, komponen penting dari BTS dan handset. GaAs dan GaN dapat digunakan untuk membuat transistor jenis BJT, FET (transistor efek medan), dan HEMT (transistor mobilitas elektron tinggi).

Sirkuit terpadu gelombang mikro monolitik (MMIC) berbasis GaAs banyak digunakan di smartphone, tablet, dan perangkat WiFi. Sakelar dan amplifier yang didasarkan pada MMIC semacam itu dirancang untuk beroperasi pada tegangan dan arus rendah, biasanya tersedia dari baterai. MMIC berbasis GaN memiliki kemampuan tegangan yang lebih tinggi menjadikannya pilihan yang menarik untuk power amplifier di BTS^[11].

Transistor GaN telah ada selama lebih dari satu dekade dan pada awalnya dikembangkan untuk jammer IED (perangkat peledak improvisasi). GaN memiliki kepadatan daya yang tinggi, yaitu memiliki kemampuan untuk menghilangkan panas dari paket kecil sehingga sangat efektif. GaN, karena mobilitas elektronnya yang tinggi, dapat memperkuat sinyal dengan baik ke kisaran gigahertz atas. Namun, peralatan berkemampuan GaN mahal karena proses pembuatannya mahal.

6.9.2 Metrik Kinerja PA—PAE

PA di telepon seluler biasanya ditenagai langsung dari baterai sehingga implementasi sistem menjadi lebih mudah, tetapi hal ini menyebabkan nonlinier dan inefisiensi dalam hal (misalnya, memperpendek masa pakai baterai, mengurangi waktu bicara, dll.). Namun, ada tradeoff antara linearitas dan efisiensi. Untuk memenuhi linearitas yang diperlukan, daya transmisi yang beroperasi di-back off dari titik kompresi power amplifier yang mengurangi efisiensi. Menurut Texas Instruments^[23], pengembang IC besar, bagian daya RF dari ponsel selama transmisi dapat menghabiskan hingga 65% dari anggaran daya keseluruhan karena inefisiensi intrinsik PA.

PAE adalah metrik kinerja yang paling umum untuk amplifier daya RF saat ini. Ini adalah rasio dari output daya RF, P_{out} , daya input yang lebih kecil, P_{in} , dengan total daya DC, P_{dc} , yang dikonsumsi yang dinyatakan sebagai persentase seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 6.1. Jika PA terhubung langsung ke baterai, diterjemahkan menjadi $P_{dc} = V_{batt} * I_{batt}$, dan jika ditenagai oleh regulator pasokan, $P_{dc} = V_o * I_o$

Rumus 6.1

$$PAE = \frac{P_{out} - P_{in}}{P_{dc}} * 100\%$$

Untuk mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi, Pdc perlu dikurangi dan salah satu cara untuk mencapai ini adalah melalui penggunaan regulator suplai DC-DC²⁵ [24]. Regulator ini menurunkan tegangan output pada tingkat daya pemancar RF yang lebih rendah yang pada gilirannya mengurangi I_o (arus yang ditarik oleh PA), sehingga meningkatkan PAE.

6.10 Sel Surya

Sel surya adalah detektor dan pengubah yang mengubah sinar matahari menjadi arus listrik dengan rugi-rugi yang minimum^[25]. Sel surya pada awalnya dikembangkan untuk memberi daya pada satelit di luar angkasa, tetapi sekarang menjadi bagian umum dari peluncuran situs sel untuk mengurangi biaya operasional dan mengikuti agenda hijau melalui penggunaan sistem konsentrator fotovoltaik.

Fotovoltaik adalah teknologi penentu yang secara langsung memanfaatkan sumber daya utama planet kita, matahari. Sel surya yang terkena sinar matahari secara langsung menghasilkan listrik tanpa efek berbahaya yang diketahui terhadap lingkungan. Ini dapat menghasilkan daya selama bertahun-tahun (mungkin 20 tahun) dengan biaya pemeliharaan dan operasional yang minimal^[25-28].

6.10.1 Material dan Teknologi untuk Sel Surya

Salah satu cara paling efektif untuk menghasilkan listrik dari radiasi matahari adalah penggunaan sel surya multi-junction, yang terdiri dari semikonduktor senyawa III-V. Pengembangan sel surya multijunction atau monolitik tandem (Sel surya multi-junction atau sel tandem adalah sel surya yang mengandung beberapa p-n junction. Sel-sel ini terdiri dari bahan semikonduktor yang berbeda. Setiap junction terkena panjang gelombang cahaya yang berbeda, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi listrik dari sinar matahari sel^[4].) dimulai pada tahun 1985. Pengembangan konkret pertama pada sel multi-junction berbasis GaInP dan GaAs diterbitkan dan dipatenkan oleh J. Olson dan rekan kerja di National Renewable Energy Laboratory^[29,30].

GaAs lebih umum digunakan dalam sel fotovoltaik multi-junction untuk fotovoltaik terkonsentrasi^[4]. Sistem Concentrating Photovoltaic (CPV) mengubah energi cahaya menjadi energi listrik dengan cara yang sama seperti yang dilakukan oleh teknologi fotovoltaik konvensional. Namun, ia menggunakan sistem optik canggih untuk memfokuskan sejumlah besar sinar matahari ke setiap sel fotovoltaik surya untuk efisiensi maksimum^[4,31]. Jadi, dengan memfokuskan sinar matahari ke area yang lebih kecil, konsentrator dapat menggunakan lebih sedikit sel surya daripada tenaga fotovoltaik tradisional (yaitu, sel surya tradisional yang terbuat dari silikon)^[4,25].

Sebuah konsentrator memiliki kapasitas pembangkit listrik yang tinggi dengan kapasitas sekitar 1–200 megawatt. Konsentrator memiliki bagian yang dapat bergerak untuk mengakomodasi perubahan arah matahari, membuatnya mudah untuk diproduksi dan dirawat, sehingga sangat cocok untuk pembangkit listrik PV skala besar^[26]. Semikonduktor senyawa golongan III-V adalah bahan yang paling efisien untuk sistem konsentrator fotovoltaik saat ini. Alasan utamanya adalah fleksibilitas yang memungkinkan penggabungan berbagai bahan dari senyawa biner hingga kuaterner dengan fleksibilitas yang sesuai dari rekayasa celah pita. Menariknya, karena senyawa ini dapat mempertahankan celah pita

²⁵ Konverter/regulator DC-ke-DC adalah rangkaian elektronika yang mengubah sumber arus searah (DC) dari satu level tegangan ke level tegangan lainnya^[4].

karena koefisien penyerapan yang tinggi, senyawa ini juga cenderung memancarkan cahaya secara efisien. Substrat yang paling umum digunakan adalah GaAs dan InP dan ini memiliki celah pita yang ideal untuk konversi matahari^[27].

GaAs memiliki celah pita (energy gap) yang optimal untuk material semikonduktor tunggal^[32]. Efisiensi yang lebih tinggi hanya dapat dicapai dengan membagi spektrum matahari²⁶ menjadi beberapa bagian, yaitu semikonduktor celah pita tinggi seperti GaAs digunakan untuk menyerap radiasi panjang gelombang pendek sedangkan bagian panjang gelombang panjang ditransmisikan ke semikonduktor kedua dengan celah pita lebih rendah. energi seperti Ge. Dalam konfigurasi seperti itu, kerugian transmisi dan termal dari pembawa panas²⁷ dapat diminimalkan^[25].

Sel surya high end dan efisiensi tinggi menggunakan struktur triple-junction untuk memaksimalkan efisiensi. Memusatkan sinar matahari dengan faktor antara 300x hingga 1000x ke area sel kecil memungkinkan penggunaan sel surya triple-junction yang sangat efisien tetapi mahal berdasarkan semikonduktor Grup III-V^[33]. Sebagai contoh, struktur umum sel triple-junction berbasis GaInP/GaInAs/Ge ditunjukkan pada Gambar 6.2, yang menguntungkan dibandingkan dengan silikon, bahkan dengan bahan keras radiasi InP.

Sampel ini terdiri dari Ge (0,7 eV) sebagai subsel bawah yang terbentuk pada substrat Ge dengan $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$ (1,4 eV) sebagai subsel tengah, sedangkan kisi yang cocok²⁸ $\text{Ga}_{0,49}\text{In}_{0,51}\text{P}$ (1,9 eV) adalah subsel atas. Dioda terowongan digunakan untuk membentuk sambungan seri listrik dari subsel [25].

GAMBAR 6.2 Sel sambungan rangkap tiga III-V. (Dari Frank D. 2006. Sel Surya Efisiensi Tinggi dari Semikonduktor Senyawa III-V. Wiley InterScience: Physica Status Solidi (c) 3(3):373–379 doi:10.1002/pssc.200564172^[25].)

6.10.2 Kinerja Sel Surya Multi-Persimpangan

Efisiensi sel surya multi-junction dapat ditingkatkan terutama dengan meningkatkan jumlah cahaya yang dikumpulkan oleh setiap sel yang diubah menjadi pembawa dan meningkatkan koleksi pembawa cahaya yang dihasilkan oleh setiap p-n junction^[26].

Standar CPV IEC 62108 disebut "modul dan rakitan fotovoltaik Konsentrator (CPV)—Kualifikasi desain dan persetujuan jenis" dikeluarkan oleh Internasional Electrotechnical Commission (IEC) pada tahun 2007^[36]. Standar pengujian yang paling menonjol ini menetapkan persyaratan desain minimum dan jenis prosedur persetujuan untuk modul dan rakitan CPV, cocok untuk operasi jangka panjang (~25 tahun) di iklim terbuka umum.

²⁶ Matahari memancarkan sinar matahari melalui gelombang elektromagnetik yang menyebar pada rentang panjang gelombang (290–2500 nm) dan itu dikenal sebagai spektrum matahari^[34].

²⁷ Pembawa panas menyiratkan baik lubang atau elektron yang telah memperoleh energi kinetik yang sangat tinggi setelah dipercepat oleh medan listrik yang kuat di daerah intensitas medan tinggi dalam perangkat semikonduktor (terutama semikonduktor oksida logam [MOS]). Pembawa ini dapat disuntikkan dan terperangkap karena energi kinetiknya yang tinggi di area yang tidak seharusnya, mengakibatkan muatan ruang yang menyebabkan perangkat terdegradasi atau menjadi tidak stabil. Degradasi perangkat ini karena injeksi pembawa panas disebut "efek pembawa panas"^[35]

²⁸ Lattice matched adalah struktur yang terdiri dari lapisan ultra-tipis dari semikonduktor kristal tunggal (biasanya Grup III-V) dari komposisi kimia yang berbeda. Pencocokan antara dua bahan semikonduktor yang berbeda memungkinkan daerah perubahan celah pita terbentuk dalam suatu bahan tanpa menimbulkan perubahan struktur kristal^[4,37]

Standar tersebut mendefinisikan sejumlah pengujian termasuk isolasi listrik, uji siklus termal, dampak hujan es, dan sebagainya, untuk menangkap kinerja CPV. Detailnya dapat ditemukan dalam standar^[36]. Sebagai contoh, tes siklus termal sangat penting untuk menguji keandalan sel surya konsentrator sedangkan fokus tes kinerja listrik adalah untuk menemukan penurunan daya (bukan pada output daya absolut) dengan membandingkan modul uji CPV sebelum dan sesudah tekanan relatif kekuasaan. Daya relatif didefinisikan sebagai keluaran daya maksimum dari sampel yang diuji dibagi dengan keluaran daya maksimum dari sampel kontrol, yang diukur dalam kondisi pengujian yang serupa.

Daya relatif sampel P_r dapat dihitung dari Rumus 6.2.

Rumus 6.2

$$P_r = \frac{P_m}{P_{mc}} * 100$$

dimana

P_r adalah daya relatif sampel, dalam persentase %

P_m adalah daya maksimum sampel uji, dalam W

P_{mc} adalah daya maksimum sampel kontrol yang diukur pada kondisi yang sama seperti P_m di W. Metrik, degradasi daya relatif, digunakan untuk menentukan viabilitas sel surya konsentrator setelah sejumlah siklus termal tertentu. Degradasi daya relatif P_{rd} dijelaskan dalam Persamaan 6.3:

$$P_{rd} = \frac{P_{ri} - P_{rf}}{P_{ri}} * 100$$

di mana P_{rf} dan P_{ri} adalah kekuatan relatif yang diukur masing-masing setelah dan sebelum pengujian yang diberikan.

P_{rd} harus kurang dari 13% untuk pengukuran di luar ruangan dan 8% untuk di dalam ruangan. Perbedaan 5% disediakan untuk memperhitungkan ketidakpastian yang lebih besar di lingkungan luar.

6.11 MEMS

Minat pada MEMS tumbuh karena meningkatnya permintaan untuk produk yang memungkinkan gerakan. Alasan utama permintaan ini adalah penggunaan perangkat MEMS dalam aplikasi terkait elektronik konsumen. Di smartphone dan komputer tablet, iSuppli memperkirakan bahwa pasar MEMS akan tumbuh sekitar 30% per tahun^[38]. Produk yang diaktifkan MEMS juga dapat ditemukan di mobil dan instrumen medis^[39].

MEMS menurut definisi adalah perangkat dan struktur miniatur (yaitu, elemen mekanik dan elektromekanis) yang dibuat menggunakan teknik yang serupa dengan yang digunakan untuk sirkuit terpadu. Perangkat MEMS biasanya terdiri dari elemen sensor mikro-elektro-mekanis untuk menerima / merasakan informasi dari lingkungan dan elemen aktuator untuk menanggapi keputusan dari sistem kontrol untuk mengubah lingkungan, yang dikemas bersama dengan IC. Sistem kontrol dapat berupa sistem mekanis atau elektronik tetap, sistem berbasis perangkat lunak (seperti driver printer), orang, atau bentuk input lainnya^[40-43].

6.11.1 MEMS di Seluler

Salah satu segmen pertumbuhan terbesar dalam manufaktur MEMS adalah perangkat Internet seluler. Hal ini disebabkan kemampuan MEMS yang memungkinkan integrasi

sejumlah mikro-komponen pada satu chip untuk kedua penginderaan dan pengendalian lingkungan dengan menggunakan, untuk sebagian besar, proses manufaktur IC yang ada^[44].

Perangkat Mobile Internet berisi perangkat MEMS seperti accelerometers, gyroscopes, dan microphones, dan juga memiliki radio (WiFi dan seluler) yang memiliki kebutuhan aplikasi untuk perangkat RF MEMS, termasuk resonator, varactor, dan sw ITC h^[43]. Beberapa contohnya adalah sebagai berikut:

- Akselerometer dan giroskop MEMS 3-sumbu di Nintendo Wii, Apple iPhone, dan sebagainya.
- Mikrofon MEMS digital dengan sirkuit konverter analog-ke-digital built-in^[4].
- Penggunaan teknologi chip tunggal yang disebut CMOS MEMS dalam akselerometer, sensor pintar (tekanan, suara), dan MEMS²⁹ terkait RF (variator, sakelar)^[45,46].
- Sakelar RF MEMS, kapasitor sakelar, dan vraktor diterapkan pada radio yang ditentukan perangkat lunak, antena yang dapat dikonfigurasi ulang, filter band-pass yang dapat disetel, dan sebagainya^[4,46].

6.12 IoT-Mesin Pertumbuhan Selanjutnya untuk Semikonduktor

IoT dipandang sebagai aplikasi pembunuh berikutnya oleh banyak pakar sektor ITC IoT, seperti yang didefinisikan oleh ITU dalam Rekomendasi ITU-T Y.2060^[47], adalah infrastruktur global untuk masyarakat informasi, memungkinkan layanan lanjutan dengan menghubungkan hal-hal (fisik dan virtual) berdasarkan teknologi informasi dan komunikasi interoperable yang ada dan berkembang.

Saat ini umumnya dikatakan bahwa IoT adalah mesin atau pendorong pertumbuhan berikutnya untuk industri semikonduktor. Ini akan mendorong permintaan tidak hanya untuk sensor, tetapi juga untuk aktuator dan chip keamanan. Perangkat / objek apa pun yang membutuhkan konektivitas tanpa atau dengan interaksi manusia yang minimal dapat menjadi bagian dari ekosistem IoT. Oleh karena itu, setiap industri mulai dari manufaktur, real estat, transportasi, otomotif, logistik, rantai pasokan, dan perawatan kesehatan, hingga telekomunikasi, utilitas, dan keuangan dapat bergantung pada IoT di masa mendatang^[48,49].

6.13 Teknologi/Proses

Semikonduktor dianggap sebagai blok bangunan untuk komponen infrastruktur dalam ekosistem IoT. Komponen ini merasakan, mengumpulkan, mengirim/menerima, dan memproses sinyal dan data untuk aplikasi IoT^[49]. Pada dasarnya, perangkat IoT merasakan sesuatu terlebih dahulu, kemudian mengumpulkan data tentang apa yang dirasakannya, dan mengomunikasikan data ini melalui koneksi Internet ke perangkat atau lokasi lain di mana data tersebut diproses^[50].

Sebagian besar perangkat IoT bertenaga baterai, sehingga perlu beroperasi tanpa perawatan atau penggantian selama bertahun-tahun dan juga harus mengkonsumsi daya minimal. Dalam kasus lain, daya akan disediakan melalui sumber eksternal ke infrastruktur IoT. Dalam kedua kasus tersebut, efisiensi energi sangat penting untuk keberhasilan IoT. Selain itu, sejumlah besar data pribadi dan informasi rahasia organisasi dapat dipertukarkan, terutama melalui

²⁹ Perangkat RF MEMS memiliki bagian mikro bergerak yang mampu mengonfigurasi ulang karakteristik RF perangkat
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

perangkat yang dapat dikenakan. Dengan demikian, sirkuit terintegrasi tertanam daya dan keamanan akan diperlukan untuk kelancaran pengoperasian IoT^[50].

Teknik manufaktur canggih seperti MEMS yang dibahas sebelumnya dan NEMS (sistem nanoelektromekanis) menggabungkan komponen elektronik dan mekanik pada skala mikro dan nano. Integrasi ini memungkinkan fungsionalitas sensor, aktuator, dan sirkuit terintegrasi menjadi faktor bentuk kecil, yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam sejumlah besar aplikasi IoT. Sirkuit terintegrasi yang digunakan di IoT tidak memerlukan integrasi yang rumit dan dapat menggunakan lebih dari satu chip. Namun, aplikasi IoT idealnya memerlukan satu chip pada faktor bentuk yang dapat diterima dan dengan konsumsi daya yang sangat rendah yang telah mendorong pertumbuhan untuk desain tipe SoC. SoC terdiri dari beberapa inti tertanam, GPU tertanam (unit pemrosesan grafis), dan konektivitas nirkabel terintegrasi dalam satu paket^[49]. Singkatnya, blok bangunan dasar dari IoT termasuk mikrokontroler, sensor, aktuator, fungsi manajemen daya, memori tertanam, dan konektivitas^[51].

6.14 Masa depan IoT

Karena semakin banyak HAL yang terhubung, demikian juga permintaan akan semikonduktor. Permintaan chip dan IC yang mengandung prosesor, MEMS, dan komponen RFAMS akan meningkat. Jika pasokan sesuai kebutuhan, akhirnya skala ekonomi akan tercapai sehingga biaya lebih rendah. Misalnya, komponen MEMS mendominasi berbagai produk konsumen dan prevalensi ini terjadi karena penurunan harga jual rata-rata ditambah dengan peningkatan permintaan^[51].

Banyak standar IoT sedang dalam pengembangan dan kasus penggunaan terus berkembang. Perusahaan semikonduktor perlu mengawasi standar dan teknologi tersebut untuk mengembangkan strategi yang komprehensif. Sejumlah perkiraan dan prakiraan yang berbeda tersedia, semuanya menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam jumlah perangkat yang terhubung dalam beberapa tahun ke depan. Beberapa perkiraan menunjukkan bahwa akan ada sekitar 30 miliar perangkat yang terhubung pada tahun 2020 dan menurut Internasional Data Corporation (IDC) pasar IoT di seluruh dunia akan mencapai Rp. 17.000 triliun pada tahun 2020^[52].

6.15 Status Industri Semikonduktor

Industri semikonduktor yang ada cukup kecil, hanya terdiri dari beberapa pemain. Sejumlah upaya telah dilakukan sejak tahun 1980-an, tetapi kebanyakan dari mereka tidak berhasil karena satu dan lain hal. Alasan utamanya adalah ukuran pasar lokal tidak cukup besar untuk menarik perusahaan lokal dan asing dan ketersediaan perangkat semikonduktor terbaru dan termurah dari China / Taiwan. Karena faktor-faktor ini dan yang disebutkan di atas, dapat dikatakan bahwa tidak ada yang melakukan desain level IC atau fabrikasi IC di negara ini.

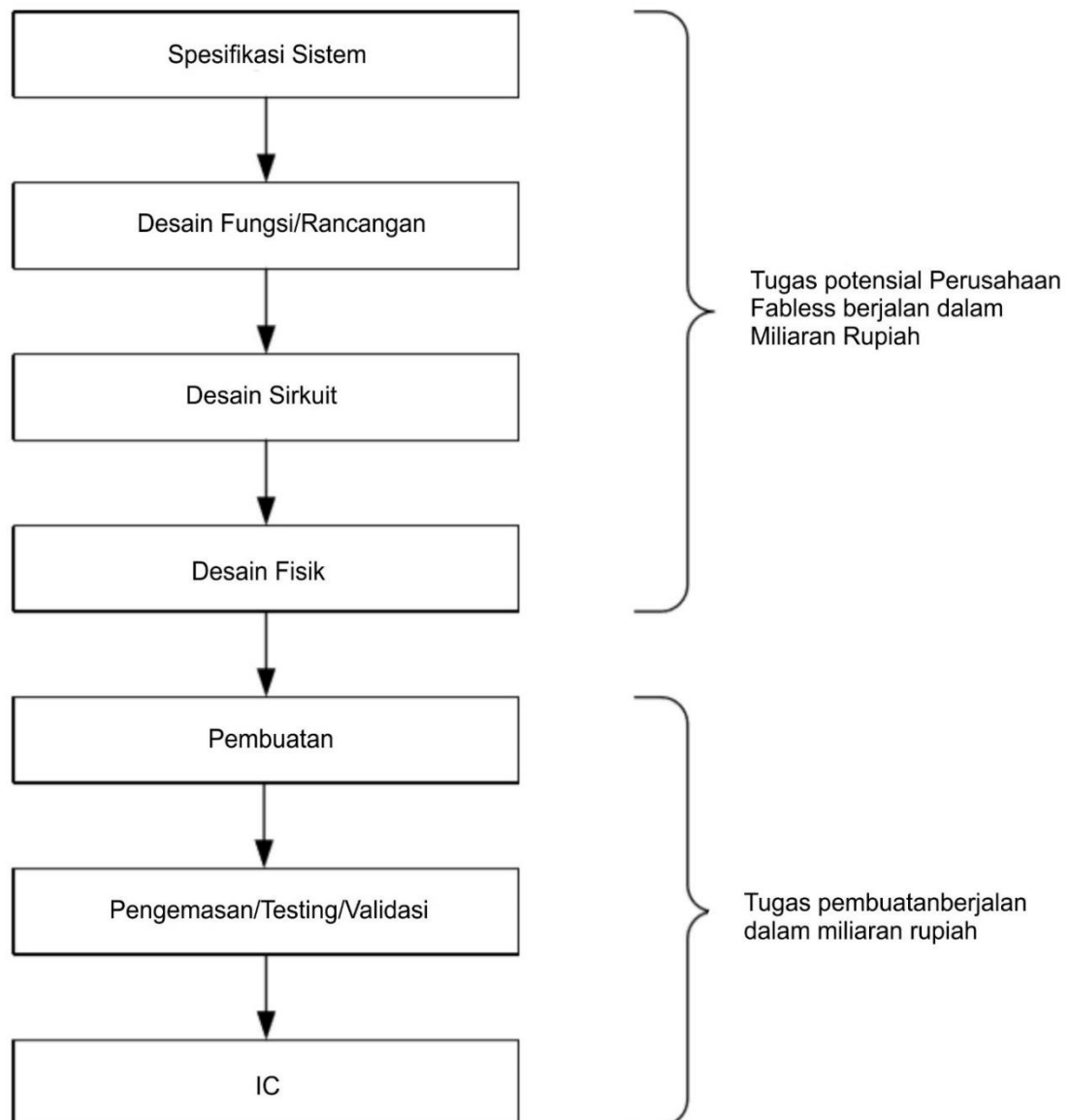
6.16 Proses Pengembangan Semi Konduktor

Desain chip telah berkembang jauh sejak chip semikonduktor pertama dibuat secara harfiah dengan tangan. Sekarang, alat perangkat lunak EDA (otomatisasi desain elektronik) digunakan untuk melakukan pekerjaan itu. Terlepas dari itu, tujuan dari proses desain adalah untuk membuat cetak biru yang berfungsi untuk chip baru dan menyiapkannya untuk pembuatan.

Pengembangan semikonduktor dari desain di atas kertas hingga pengemasan IC akhir adalah proses yang kompleks, mahal, dan memakan waktu (Gambar 6.3). Bagian ini akan melihat secara singkat proses ini^[4,55-58].

Setelah desain sistem diselesaikan, desainer menggunakan bahasa deskripsi perangkat keras yang menjelaskan desain ini dalam ratusan/ribuan baris kode perangkat lunak. Langkah ini diikuti oleh desain fisik, di mana beberapa sub-langkah digunakan untuk membangun susunan lapisan bahan semikonduktor dan geometri untuk menghasilkan ribuan perangkat elektronik (transistor) dalam ukuran kecil, yang bersama-sama berfungsi sebagai sirkuit terpadu. Pemrosesan wafer semikonduktor untuk menghasilkan IC melibatkan banyak kimia dan fisika.

Cara cepat untuk merancang chip baru melibatkan penggunaan sirkuit yang digunakan kembali. Chip ukuran besar mencakup cukup banyak sirkuit yang digunakan kembali, dipinjam, dilisensikan, atau didaur ulang (bukan silikon yang didaur ulang secara fisik), dan ide desain daur ulang. Ini disebut penggunaan kembali desain atau penggunaan kembali IP seperti yang dijelaskan sebelumnya. Perusahaan semacam itu melisensikan desain chip parsial kepada orang lain dan mengumpulkan royalti. Langkah selanjutnya setelah desain fisik adalah fabrikasi wafer yang dilakukan di pengecoran. Mengubah bahan semikonduktor menjadi IC membutuhkan ketiadaan kontaminasi mutlak dan proses ini juga ditangani oleh pabrikan. IC (produk) yang sudah jadi kemudian disimpan, didistribusikan, dan dijual baik oleh IDM atau oleh perusahaan dongeng.



Gambar 6.3 Alur desain IC (bersama dengan biaya).

6.17 Potensi Kedepan

Langkah-langkah kunci dalam proses ini seperti yang dibahas di atas termasuk desain perangkat lunak, desain fisik, pembuatan sirkuit terpadu, dan akhirnya, penjualan dan distribusi.

Menurut Fast Market Research, pasar elektronik konsumen diproyeksikan tumbuh pada CAGR 9,1% selama 2016-2020^[59] dan sebagian besar produk tersebut telah/akan dikirim dari China. Angka ini membuat kasus pengecoran di negara ini tidak menarik, karena dengan mudah membutuhkan investasi Rp. 10 triliun tanpa ROI dalam waktu dekat. Selain itu, persaingan dari China, AS, dan lainnya akan sangat sulit dikalahkan dan kurangnya tenaga kerja yang berpengalaman akan menjadi tantangan lain^[60]. Namun, opsi untuk mendirikan perusahaan dongeng masih layak dilakukan di mana biaya investasi awal berkisar beberapa miliar rupiah.

6.18 Kesimpulan

Semikonduktor dan IC adalah bagian penting untuk sektor telekomunikasi seluler. Pengembangan semikonduktor yang sedang berlangsung akan memperkaya pengalaman pengguna ponsel. Misalnya, tim peneliti MIT (Massachusetts Institute of Technology) mengklaim telah merancang transistor kerja gerbang terpendek, namun dibuat menggunakan saluran Grup III-V. Mereka telah membuktikan secara eksperimental bahwa saluran InAs mengungguli silikon pada dimensi perangkat kecil. Karya perintis ini dan yang serupa akan meningkatkan kemajuan penelitian dan pengembangan teknologi berbasis Grup III-V yang kompatibel dengan CMOS di seluruh dunia^[61].

Pasar produk GaAs relatif sangat besar dibandingkan dengan GaN, tetapi pasar GaN terus berkembang. Perbaikan berkelanjutan mengurangi biaya produksi GaN dengan kecepatan yang wajar. GaAs akan terus mendominasi pasar radio gelombang mikro dengan MMIC dan power amplifier untuk telepon seluler. Namun, karena biaya GaN turun, GaAs bisa mulai kehilangan pangsa pasarnya^[62].

MEMS akan terus menerima daya tarik untuk komponen yang mendukung gerakan di perangkat Internet seluler. IoT kemungkinan besar adalah mesin pertumbuhan berikutnya untuk semikonduktor. Namun, pekerjaan standarisasi yang terfragmentasi untuk IoT kemungkinan akan berdampak pada adopsi di telekomunikasi seluler sampai batas tertentu.

6.19 Pertanyaan

1. Jelaskan empat jenis perusahaan semikonduktor?
2. Apa saja aplikasi RF utama yang dikembangkan dengan teknologi CMOS dan bipolar?
3. Apa kunci semikonduktor senyawa III-V untuk sistem nirkabel?
4. Apa itu prosesor ARM dan seberapa pentingkah ini bagi industri seluler?
5. Tentukan efisiensi daya tambah dari penguat RF LM123 ketika $V_o = 3,4 \text{ V}$, $I_o = 400 \text{ mA}$, $V_{in} = 4,2 \text{ V}$, dan $I_{in} = 100 \text{ mA}$. PA ini didukung oleh power amplifier regulator?
6. Mengapa GaN semakin penting sebagai bahan pengganti power amplifier?
7. Apa itu sel surya?
8. Apa itu sistem konsentrator fotovoltaik?
9. Mengapa sel surya multi-junction III-V lebih baik daripada sel surya lapisan tunggal?
10. Apa yang dimaksud dengan uji kinerja listrik seperti yang didefinisikan dalam standar IEC62018?

11. Berapa penurunan daya relatif dari sel surya yang daya relatifnya sebelum dan sesudah masing-masing adalah 9,45 watt dan 10 watt, setelah 5 tahun dengan 800 siklus termal?
12. Apa itu MEMS dan apa kegunaannya untuk industri komunikasi seluler?
13. Apa itu IoT seperti yang didefinisikan oleh ITU?
14. Apa saja komponen dasar IoT?
15. Diskusikan dalam kelompok bagaimana membuat perusahaan dongeng yang sukses di negara berkembang.

6.20 Referensi

1. Bauer, H., Grawert, F. and Schink, S. 2012. Semiconductors for Wireless Communications: Growth Engine of the Industry. McKinsey & Company, New York, USA.
2. IHS Markit 2015. Global Semiconductor Market Achieves Strong, Broad-Based Growth in 2014. <http://press.ihs.com/press-release/technology/global-semiconductor-market-achieves-strong-broad-basedgrowth-2014-accordi>
3. Internastional Technology Roadmap for Semiconductors 2013. Radio Frequency and Analog/MixedSignal Technologies Summary.
4. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
5. Hollauer, C. 1975. Modeling of Thermal Oxidation and Stress Effects Semiconductor Fabrication Processes. Dissertation. <http://www.iue.tuwien.ac.at/phd/hollauer/>
6. Tech Target (Bitpipe). <http://www.bitpipe.com/tlist/IP-Core.html>
7. STMicroelectronics. BiCMOS. http://www.st.com/content/st_com/en/about/innovation---technology/BiCMOS.html
8. Internastional Technology Roadmap for Semiconductors 2.0 2015. Outside System Connectivity.
9. Internastional Technology Roadmap for Semiconductors 2011. Radio Frequency and Analog/MixedSignal Technologies for Communications.
10. Lee, T.H. 2007. Key Note: The History and Future of RF CMOS: From Oxymoron to Mainstream. XXV IEEE Internastional Conference on Computer Design, Lake Tahoe, Caifornia, USA, October 7–10, 2007.
11. Brown, J. 2016. What's the difference between GaN and GaAs?
12. Internastional Technology Roadmap for Semiconductors 2009. Radio Frequency and Analog/MixedSignal Technologies for Communications.
13. Bahl, I.J. 2014. Control Components Using Si, GaAs, and GaN Technologies. Artech House, Norwood, MA, USA.
14. Asif, S.Z. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
15. Georgescu, D. 2003. Evolution of Mobile Processors. 2003 IEEE Conference on Communications, Computers and Signal Processing, vol. 2, Victoria, Canada, August 28–30, 2003, pp. 638–641.
16. Khoushanfar, F. et al. 2000. Processors for Mobile Applications. 2000 IEEE Internastional Conference on Computer Design, Austin, USA, September 17–20, 2000, pp. 603–608.
17. Richard, M.S. 2005. SiGe BiCMOS RF ICs and Components for High Speed Wireless Data Networks. Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
18. Razavi, B. 1997. RF Electronics. Prentice-Hall, Inc, NJ, USA.

19. MIPI Alliance, Inc. DigRF(SM) Specifications. <http://mipi.org/specifications/digrfsm-specifications>
20. Ganseh, K. and Claudio, R. 2012. Design: Multimedia, Multiband Transceiver Technology Delivers LTE. <http://www.eetimes.com/General/PrintView/4235909>
21. Rahman, M. et al. 2012. SAW-less Transceiver for 4G/3G/2G Cellular Standards. Fujitsu Scientific & Technical Journal 48(1):60–68.
22. Arrow Electronics, Inc. (RichardsornFPD) RF & MW Power Amplifier. <http://www.richardsornfpd.com/Pages/Product-End-Category.aspx?productCategory=10042>
23. Texas Instruments 2011. LM3203, LM3204, LM305 Optimizing RF Power Amplifier System Efficiency Using DC-DC Converters (Literature Number: SNVA593).
24. Ripley, D.S. 2016. Patent Application Title: Shared Integrated DC-DC Supply Regulator. <http://www.patentsencyclopedia.com/app/20160094254>
25. Frank, D. 2006. High-Efficiency Solar Cells from III-V Compound Semiconductors. Wiley InterScience: Physica Status Solidi (c) 3(3):373–379 doi:10.1002/pssc.200564172.
26. Lin, G.J. et al. 2013. III-V Multi-junction solar cells. In: book edited by S.L. Pyshkin and M.B. John, Optoelectronics—Advanced Materials and Devices. InTech, New York, pp. 445–471. <http://www.intechopen.com/books/optoelectronics-advanced-materials-and-devices/iii-v-multi-junction-solar-cells>.
27. Connolly, J.P. and Mencaraglia, D. 2013. III-V Solar Cells. <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1301/1301.1278.pdf>
28. Green, M.A. 2005. Third Generation Photovoltaics. Springer-Verlag, Germany.
29. Olson, J.M. 1987. US Patent 4,667,059 Current and Lattice Matched Tandem Solar Cell.
30. Olson, J.M. et al. 1985. GaInP₂/GaAs: A Current Lattice-Matched Tandem-Cell with a High Theoretical Efficiency. 18th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Las Vegas, Nevada, USA, 21–25 October, pp. 552–555.
31. CPV Consortium. <http://cpvconsortium.org/>
32. Green, M.A. 1982. Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications. PrenticeHall, USA.
33. Philipps, S.P. and Bett, A.W. 2016. Current Status of Concentrator Photovoltaic Technology (CPV). Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE/National Renewable Energy Laboratory. Version 1.2., February.
34. Australian Glass and Glazing Association 2012. AGGA Technical Fact Sheet Solar Spectrum. <file:///C:/Users/director.wireless/Downloads/AGGA%20Technical%20Fact%20Sheet%20-%20Solar%20Spectrum%20-%20February%202012.pdf>
35. EESemi.com. <http://www.siliconfareast.com/hotcarriers.htm>
36. Internastional Electrotechnical Commission 2007. IEC 62108 Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies—Design qualification and type approval. Edition 1.0, December.
37. Semiconductor Glossary. <http://www.semi1source.com/glossary/default.asp?searchterm=lattice+matched+structure>
38. Internastional Electronics Manufacturing Initiative 2011. Technology Roadmap, January.
39. Internastional Technology Roadmap for Semiconductors 2013. Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS) summary.
40. Waldner, J.-B. 2008. Nanocomputers and Swarm Intelligence. ISTE John Wiley & Sons, London, p. 205. ISBN 1-84821-009-4.

41. MEMSnet. What Is MEMS Technology? <https://www.memsnet.org/about/what-is.html>.
42. Madou, M.J. 1997. Fundamentals of Microfabrication. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
43. SmallTech Consulting. What Is MEMS? <http://www.smalltechconsulting.com/What is MEMS.shtml>
44. Internastional Technology Roadmap for Semiconductors 2011. Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS).
45. Semiconductor Manufacturing Internastional Corporation. CMOS MEMS. http://www.smics.com/eng/foundry/technology/cmos_mems.php
46. Jacopo, I. 2011. An Overview of RF MEMS Technologies and Applications. MEMS Journal. <http://www.memsJournal.com/2011/05/an-overview-of-rf-mems-technologies-and-applications.html>
47. ITU-T, Recommendation ITU-T Y.2060 2012. Overview of the Internet of Things.
48. Yeo, K.S. et al. 2014. Internet of Things: Trends, Challenges and Applications. Internastional Symposium on Integrated Circuits, 10–12 December, pp. 568–571
49. Acker, O. et al. 2015. The Internet of Things: The Next Growth Engine for the Semiconductor Industry. PricewaterhouseCoopers AG, May.
50. Lattice Semiconductor 2015. Energy Efficiency: The Common Denominator in the Internet of Things, March.
51. Altis 2014. IoT, a Key Enabler of Current and Future World’s Semiconductor Industry Growth. Altis Insights, October.
52. Internastional Data Corporation 2015. Explosive Internet of Things Spending to Reach \$1.7 Trillion in 2020. <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25658015>
53. Syed, A.S. 2012. Semiconductor Radiation Engineering-Global Applications & Trends, Centre for Emerging Sciences, Engineering & Technology, presentation.
54. Clean Air Technology, Inc.. What Is a Cleanroom? <http://www.cleanairtechnology.com/cleanroomclassifications-class.php>
55. Olofsson, A. 2012. A Lean Fabless Semiconductor Startup Model, Adapteva. <http://www.adapteva.com/white-papers/a-lean-fabless-semiconductor-startup-model/>
56. EntrepreNL 2012. How to Start a Semiconductor Company: The Story of GreenPeak. <http://entreprenl.wordpress.com/2012/09/27/how-to-start-a-semiconductor-company-the-story-of-greenpeak/>
57. Turley, J. 2003. How Chips Are Designed, Informit. <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=31679>
58. Investopedia 2016. The Industry Handbook: The Semiconductor Industry. <http://www.investopedia.com/features/industryhandbook/semiconductor.asp>
59. New Market Research Report: Pakistan Consumer Electronics Report Q3 2016. <https://www.clickpress.com/releases/Detailed/747268005cp.shtml>
60. Pakistan Affairs 2014. Thread: Semiconductor showdown: TSMC, Intel, Samsung, Global Foundries, IBM, SMIC, and UMC. <http://www.pakistanaffairs.pk/threads/66042-Semiconductor-showdownTSMC-Intel-Samsung-Global-Foundries-IBM-SMIC-and-UMC>
61. Mike, C. 2012. MIT Researchers make Smallest Working III-V Transistors Yet. http://www.semiconductor-today.com/news_items/2012/DEC/MIT241212.html
62. MSE Supplies 2016. What Are the Differences between GaN And GaAs RF Power Amplifiers? <https://www.msesupplies.com/blogs/news/what-are-the-differences-between-gan-and-gaas-rf-power-amplifiers>

BAB 7

PENGEMBANGAN PRODUK

Finalisasi standar dan pengembangan perangkat semikonduktor (sirkuit terintegrasi) mengarah pada pengembangan produk. Pengembangan produk berarti penciptaan produk dengan karakteristik baru atau berbeda yang dapat menawarkan manfaat baru atau tambahan kepada pelanggan. Pengembangan produk mungkin melibatkan modifikasi produk yang sudah ada atau presentasinya atau perumusan produk yang sama sekali baru yang memenuhi keinginan pelanggan atau ceruk pasar yang baru didefinisikan^[1].

Istilah produk dalam bab ini mengacu pada peralatan telekomunikasi akhir yang dikembangkan (tidak termasuk telepon seluler). Bab ini akan melihat karakteristik produk tersebut tetapi bukan proses yang sebenarnya. Detail tentang proses pengembangan produk dapat ditemukan di^[2]. Produk telekomunikasi tersebut dapat bersifat aktif, seperti base station, small cell, mobile sw ITC hing center, dan sebagainya, maupun pasif, seperti menara seluler, peralatan cadangan daya, kabel, dan sebagainya.

Pembahasan dalam bab ini terutama difokuskan pada fitur dan spesifikasi produk telekomunikasi jadi. Setiap produk telekomunikasi jadi dapat terdiri dari ratusan komponen dan IC. Peralatan jaringan, seperti stasiun pangkalan radio, *controller* radio, sel kecil, radio gelombang mikro, router, gateway, node optik, node jaringan inti, dan sebagainya dianggap sebagai produk telekomunikasi jadi dalam bab ini. Sudah pasti bahwa baik setiap komponen maupun setiap produk tidak dapat dijelaskan dalam satu bab atau bahkan dalam satu buku tunggal. Dengan demikian, tujuan bab ini adalah untuk meninjau beberapa produk tersebut termasuk BTS multi-standar yang ada, sel kecil, dan SSGN-MME (Melayani GPRS [Layanan Radio Paket Umum] Dukungan Node—Entitas Manajemen Mobilitas), yang akan berlanjut untuk digunakan di masa mendatang, dan untuk mengintip BTS 5G dan sel kecil.

7.1 Multi-standar, Multi-Mode, Multi-Rat berbasis Stasiun

Pemancar subjek menggabungkan beberapa teknologi akses seperti 2G, 3G, dan 4G ke dalam satu platform. Pengaktif utama stasiun pangkalan ini adalah SDR. SDR dengan baseband dan unit radio yang dapat dikonfigurasi ulang memungkinkan skalabilitas dan kemudahan peningkatan stasiun pangkalan. BTS ini memberikan efisiensi OPEX (biaya operasional) seperti backhaul terintegrasi, pengurangan konsumsi daya dan ruang, dan biaya sewa lokasi. Manfaat utama dari stasiun pangkalan ini adalah kemampuannya untuk mendukung berbagai teknologi radio dalam pita spektrum tertentu. Penyempurnaan spektrum telah menjadi pendorong penting karena operator beralih dari 2G ke 3G ke 4G, memanfaatkan aset spektrum yang tidak digunakan. Transisi GSM 900 MHz ke 900 MHz UMTS adalah salah satu contoh yang bagus tentang bagaimana BTS tersebut telah digunakan^[3].

3GPP mendefinisikan konsep karakteristik RF minimum E-UTRA, UTRA, dan GSM/EDGE Multi-Standard Radio (MSR) Base Stations (BS) dalam Spesifikasi Teknis 37.104^[4]. 3GPP mendefinisikan MSR-BS sebagai “Base Station yang dicirikan oleh kemampuan penerima dan pemancarnya untuk memproses dua atau lebih pembawa dalam komponen RF aktif yang sama secara bersamaan dalam bandwidth RF yang dinyatakan, di mana setidaknya satu pembawa adalah RAT (radio teknologi akses) daripada operator lain”.

7.2 Rancangan Stasiun Dasar

BTS 2G dan 3G terdiri dari dua elemen jaringan utama, yaitu Base Transceiver Station (NodeB, untuk 3G UMTS) dan Base Station Controller (Radio Network Controller untuk 3G). LTE dan 4G (LTE-Advanced) telah menggabungkan sebagian besar fungsi *controller* ke dalam base transceiver station eNodeB (Node B yang disempurnakan).

Inovasi terbaru dalam mendukung berbagai teknik akses radio melalui satu stasiun pangkalan menjadi berita utama di tahun 2010-an. Teknik ini memungkinkan operator untuk mendukung setidaknya dua teknologi dari GSM, CDMA/EV-DO, WCDMA, HSPA (High Speed Packet Access), LTE, dan LTE-Advanced dalam satu kotak. Bagian ini akan memberikan beberapa wawasan tentang produk stasiun pangkalan tersebut.

Base Transceiver Station Komponen utama base transceiver station (atau Node Bs) termasuk modul sistem, unit RF (atau RRU untuk arsitektur terdistribusi) dan perangkat lunak yang diperlukan (Gambar 7.1) [5,6].

7.2.1 Modul Sistem

Modul sistem mengelola pemrosesan pita dasar, distribusi daya, dan jam sistem. Ini juga menyediakan antarmuka radio umum (CPRI) dan kabel listrik atau optik untuk berkomunikasi dengan unit RF dan RRU. Komponen utama modul sistem meliputi:

- Papan jam untuk kontrol dan pengelolaan unit pita dasar dan menyediakan jam sistem.
- Unit pita dasar (BBU) untuk pemrosesan pita dasar berbagai teknologi akses radio. Ini memproses protokol lapisan fisik dan protokol bingkai sebagaimana ditentukan dalam standar yang relevan.
- Papan Alarm menyediakan antarmuka pemantauan alarm situs.
- Modul Transportasi menyediakan antarmuka transmisi E1/T1,³⁰ optik, dan elektrik.
- Modul Daya menyediakan pengukuran dan perlindungan input tegangan berlebih, perlindungan arus berlebih, dan manajemen daya tegangan dan beban di bawah.
- Fabric Sw ITC h Board menyediakan antarmuka optik pita dasar antara BBU dan RRU dan memproses sinyal IQ (dalam fase dan kuadratur).

Modul sistem berkemampuan UMTS yang khas mendukung operasi downlink (Akses Paket Downlink Berkecepatan Tinggi [HSDPA]) dan uplink (Akses Paket Uplink Berkecepatan Tinggi [HSUPA]) secara bersamaan. Dalam kasus LTE, BBU khusus dapat memiliki kapasitas 3×20 MHz dengan MIMO yang memungkinkan 500 Mbps untuk downlink dan 200 Mbps untuk uplink.

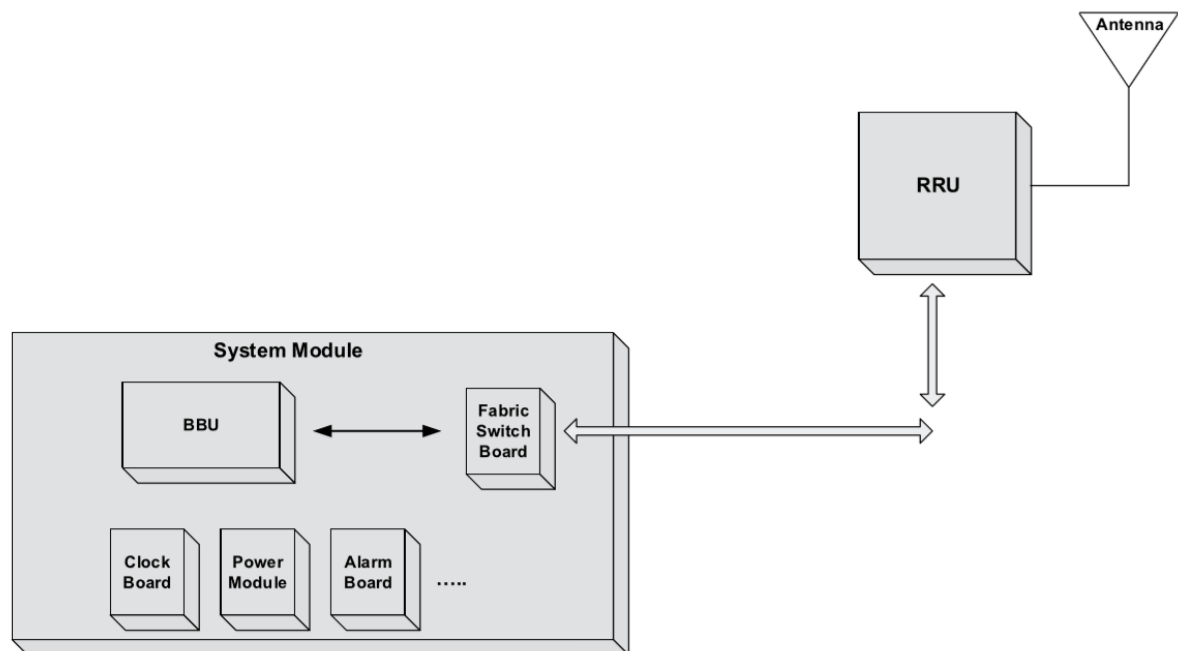
7.2.2 Satuan RF

Sebuah base station mengakomodasi beberapa modul RF untuk mendukung teknologi radio yang berbeda. Modul RF adalah unit transceiver radio multi-pembawa, multi-standar untuk memproses sinyal frekuensi radio. Itu bisa memiliki tiga atau lebih cabang independen untuk mengirim dan menerima sinyal (yaitu, sektorisasi). RF dan modul sistem dapat ditempatkan di rak / kabinet yang sama. Ketika modul RF ditempatkan di tiang menara disebut sebagai RRU (Remote Radio Unit). RRU adalah bagian frekuensi radio dari stasiun pangkalan terdistribusi dan dipasang di dekat antena (di tiang menara). RRU memodulasi, mendemodulasi, menggabungkan, dan membagi sinyal baseband dan RF yang mirip dengan unit RF.

³⁰ E1/T1: format transmisi data digital; E1: kecepatan data jalur 2 Mbps; T1: 1,544 Mbps
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

7.2.3 Spesifikasi

Spesifikasi teknis tingkat tinggi dari base transceiver station indoor dan outdoor ditunjukkan pada Tabel 7.1. Spesifikasi ini sama sekali tidak mengikuti standar dan hanya menggambarkan beberapa atribut khas.



Gambar 7.1 Arsitektur base transceiver station terdistribusi. (Catatan: antena bukan bagian dari BTS.)

Tabel 7.1 Spesifikasi Teknik pada BTS Multi-Standar

Attributes	Macro Base Transceiver Station	Micro Base Transceiver Station
Physical dimensions (H*W*D)	900 mm × 600 mm × 450 mm 1600 mm × 600 mm × 600 mm	650 * 320 * 480 mm
Capacity	8 GSM TRXs or 2 UMTS Carriers, +One 20 MHz LTE carrier (TRX: Transceiver)	6 GSM TRXs or 4 UMTS carriers or One 20 MHz LTE carrier
Operating frequencies	850/900/1800/1900/2100/AWS (Advanced Wireless Services)	850/900/1800/1900/2100/AWS
Power consumption (Watts)	12 W, 20 W, 40 W, 80 W per carrier	12 W, 15 W, 20 W, 40 W, 80 W per carrier
Power supply	-48 V DC, +24 V DC 110 V AC, 220 V AC	48 V DC, +24 V DC 110 V AC, 220 V AC
Operating temperature	-40 C to +55 C	-40 C to +55 C
Baseband unit	1, 2	1
Radio unit per baseband unit	3	1
RRUs per radio technology	3, 6	1
Mean time between failures (MTBF)	≥120,000 hours	≥120,000 hours

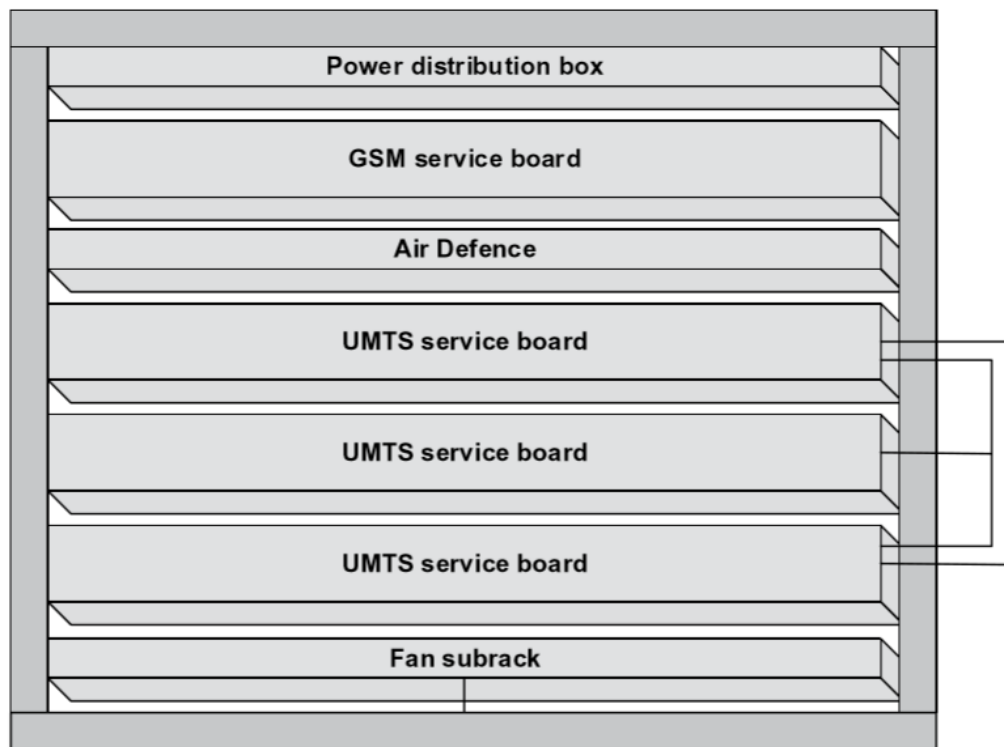
7.2.4 Controller

Controller stasiun pangkalan atau *controller* jaringan radio masing-masing merupakan komponen penting dari sistem 2G dan 3G. Fungsi utama dari *controller* adalah untuk mengatur jaringan akses radio dan saluran radio. Kontroler multi-standar melayani sejumlah BTS/NodeB dalam area geografis. Kontroler pendukung IP tersebut memiliki desain modular yang meningkatkan pemanfaatan sumber daya dan keandalan sistem. Fungsi GSM dan UMTS terintegrasi, secara efektif mengatasi tren konvergensi teknologi akses multi-radio di jaringan seluler.

7.2.5 Arsitektur

Kontroler dapat ditempatkan di rak/kabinet 19" standar yang terdiri dari papan layanan GSM dan papan layanan UMTS di subrak/modul/rak terpisah. Setiap subrak dapat tingginya 12 U (unit rak³¹). Kontroler multi-standar terkecil dapat memiliki dua subrak, satu untuk setiap teknologi radio (dalam hal ini, GSM dan UMTS). Kontroler dapat mendukung beberapa subrak (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.2) mencapai kapasitas yang lebih tinggi sekitar 40–60 Gbps di bidang IP dan 128 kbps × 128 kbps pengalihan data pada bidang TDM. Papan dipasang di sisi depan dan belakang backplane, yang diposisikan di tengah subrack. Papan antarmuka IP dapat dibagi antara jaringan GSM dan UMTS yang memungkinkan transmisi simultan dari data GSM dan UMTS^[7-9].

Selain itu, setiap unit di dalam *controller* menggunakan perangkat lunak sistem umum. Perangkat lunak biasanya didasarkan pada arsitektur berlapis di mana setiap lapisan didedikasikan untuk fungsinya sendiri dan juga menyediakan layanan ke lapisan lain. Selain itu, implementasi dan topologi setiap lapisan diisolasi dari lapisan lainnya.



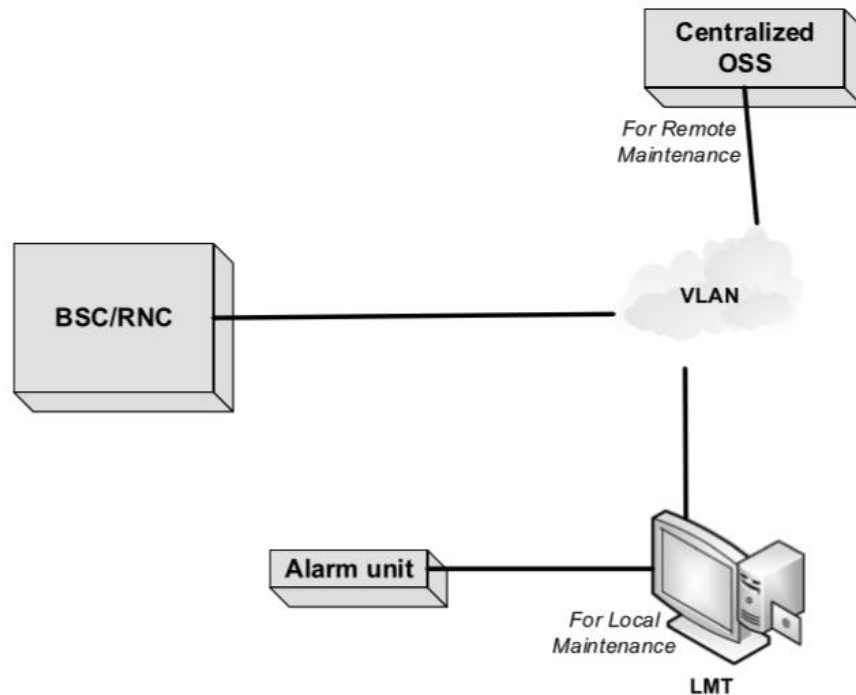
Gambar 7.2 Controller Multi-Standard

7.2.6 Fungsi utama

Radio Resource Management Module (RRM) melakukan manajemen terpadu dan penjadwalan cerdas sumber daya radio untuk jaringan GSM dan UMTS. RRM mengatur alokasi saluran, yaitu mengatur jumlah saluran lalu lintas dan saluran sinyal yang dapat digunakan dalam RAN secara bersamaan. Untuk mencapai tugas ini, ia menangani kontrol masuk, penjadwalan, dan penyeimbangan beban. Kontrol penerimaan dan permintaan penjadwalan ditangani saat ini tiba, sedangkan penyeimbangan beban adalah proses yang berkelanjutan. Selanjutnya, kontrol daya diperlukan karena UMTS merupakan sistem yang terbatas interferensi, yaitu untuk mencapai kapasitas tinggi (sumber daya radio lebih banyak),

³¹ Setiap unit rak atau U (atau RU) tingginya 1,752 inci (44,50 mm).
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

interferensi perlu dikurangi. Terakhir, manajemen serah terima diperlukan untuk memastikan bahwa pengguna terhubung ke sel terkuat sepanjang waktu, yaitu mendapatkan layanan terbaik tanpa gangguan.



Gambar 7.3 OMU Controller.

Operation and Management Unit (OMU) merupakan elemen penting dalam operasional BSC/RNC. Ini menyediakan pemeliharaan lokal dan pemeliharaan jarak jauh yang membantu operator mencapai efisiensi biaya. OMU dapat menggunakan Bahasa Mesin Manusia untuk menyediakan operasi, pemeliharaan, dan fungsi konfigurasi, atau GFU untuk mendukung hal yang sama. Aplikasi klien berbasis Java dapat berjalan pada Microsoft Windows dan pada platform Linux Red Hat.

OMU dapat mengadopsi pendekatan server-klien di mana papan O&M *controller* berfungsi sebagai server sementara papan layanan dapat berfungsi sebagai klien. LMT (terminal pemeliharaan lokal) dapat digunakan untuk pemeliharaan lokal. Ada juga Sistem Pendukung Operasi terpusat untuk pengelolaan seluruh jaringan operator, yang dapat digunakan untuk pemeliharaan jarak jauh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.3. OMU mendukung fungsi-fungsi seperti manajemen keamanan, manajemen kesalahan, manajemen alarm, manajemen peralatan, dan manajemen perangkat lunak. Jika terjadi kesalahan, OMU secara otomatis mengaktifkan prosedur pemulihan dan diagnostik yang sesuai di dalam *controller*. Ini juga dapat memberikan dukungan pasca-pemrosesan untuk tugas-tugas pengukuran dan statistik.

7.2.7 Spesifikasi

Beberapa spesifikasi teknis utama dari *controller* ditunjukkan pada Tabel 7.2, sedangkan antarmuka logis ditunjukkan pada Tabel 7.3.

7.3 Sel Kecil

Menurut Small Cell Forum, “sel kecil (sel metro) adalah istilah umum untuk node akses radio berdaya rendah yang beroperasi dalam spektrum berlisensi dan tidak berlisensi yang memiliki jangkauan 10 m hingga beberapa ratus meter. Ini kontras dengan sel makro seluler biasa yang

mungkin memiliki jangkauan hingga beberapa puluh kilometer.” Istilah tersebut meliputi femtocells, picocells, microcells, dan metrocells^[11].

Femtocell adalah stasiun pangkalan mandiri berdaya rendah, jarak pendek. Ini awalnya dikembangkan untuk penggunaan dalam ruangan di rumah tinggal, tetapi sekarang mereka mencakup unit kapasitas yang lebih tinggi untuk perusahaan, pedesaan, dan daerah metropolitan. Picocell adalah base station kompak berdaya rendah yang digunakan di perusahaan atau area dalam ruangan publik. Sebuah microcell, di sisi lain, adalah base station jarak pendek yang bertujuan untuk meningkatkan cakupan untuk pengguna indoor dan outdoor di mana cakupan makro tidak mencukupi. Saat dipasang di dalam ruangan, ia menyediakan cakupan dan kapasitas di area di atas cakupan picocell. Sel kecil seperti itu dan sel makro tradisional, jika digunakan dalam jaringan, bersama-sama membentuk HetNet. HetNet atau (Jaringan Heterogen) adalah jaringan seluler yang terdiri dari sel makro, sel kecil, dan dalam beberapa kasus, titik akses WiFi, dan berbagai teknologi akses radio yang bekerja bahu-membahu untuk menyediakan cakupan dengan kemampuan handoff di antara mereka.

Tabel 7.2 Spesifikasi Teknikal pada Controller

Specifications^a

	2G	3G
Traffic volume	6500 Erlangs ^b	16,750 Erlangs
Total PS throughput (uplink + downlink)	N/A	1000 Mbps
# of TRXs (transceivers)	600	N/A
# of NodeBs supported	N/A	500
# of BTS sites supported	400	N/A
TCH (traffic channel) for GPRS/EDGE	5000	N/A

Voice Traffic Handling Capacity

Mean holding time	80–100 seconds
MS/UE (mobile station/user terminal) originating calls ratio	60%–70%
MS/UE terminating calls ratio	40%–50%
Handover ratio	30%–40%
Location updates	2–3 per call

Keterangan :

^a = Ini mewakili konfigurasi umum dan salah satu konfigurasi pengontrol jaringan terendah.

^b = Erlang (simbol E) adalah unit tanpa dimensi yang digunakan dalam telepon sebagai ukuran beban yang ditawarkan atau beban yang dibawa pada elemen penyedia layanan seperti sirkuit telepon atau peralatan sw ITC hing telepon.

PS = Packet Sw ITC hed/ Paket Beralih ;TRX=Cell/Sel (Sektor)

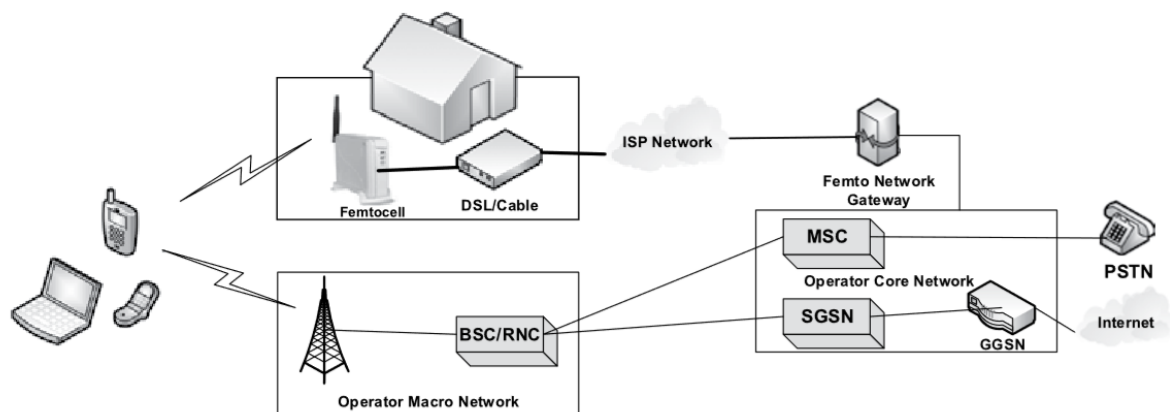
7.4 Rancangan Femtocell

Sel kecil dan khususnya femtocell mendapatkan banyak perhatian industri. Femtocell adalah stasiun pangkalan yang sangat kecil dan dengan demikian dapat ditempatkan di kediaman pelanggan. Jaringan femtocell terdiri dari dua bagian, yaitu akses radio dan jaringan inti. Jaringan akses terdiri dari femtocell yang terhubung ke modem digital subscriber line (DSL)/Cable, yang, pada gilirannya, terhubung ke jaringan backhaul/transmisi IP ISP (Internet Service Provider). Dengan demikian, lalu lintas akan dialihkan melalui koneksi ISP rumah dan

akan mengurangi biaya backhaul karena lalu lintas ponsel dirutekan melalui jaringan IP independen. Jaringan IP terhubung ke femto gateway (bagian dari jaringan inti femto) yang terhubung ke jaringan inti operator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.4^[11,12].

Tabel 7.3 Antarmuka Logikal

Logical Interfaces	2G	3G
Abis	Between BTS and BSC	
A	Between BSC and circuit switched network	
Gb	Between BSC and packet core network	
Iub		Between RNC and NodeB
Iur		Between two neighboring RNCs
Iurg	Between a 2G BSC and 3G RNC	
Iu-CS		Between RNC and circuit switched core network
Iu-PS		Between RNC and packet core network
O&M		Proprietary management interface between network management system (NMS) and RNC



Gambar 7.4 Jaringan Femtocell

Desain femtocell awal mendukung hingga 4 pengguna aktif simultan dan ditargetkan untuk penggunaan di rumah. Dengan berlalunya waktu dan kemajuan teknologi, produk femtocell telah berevolusi untuk memberikan jangkauan yang lebih jauh dan kapasitas yang lebih tinggi, memberikan layanan kepada perusahaan kecil hingga besar dan ruang publik sambil menjadi bagian dari jaringan operator tunggal yang terkoordinasi.

7.5 Produk Femtocell

Femtocell telah dikembangkan untuk semua teknologi akses radio utama (kecuali WiMAX) yang akan dibahas secara singkat di bagian ini. Upaya pengembangan pada sel femto CDMA/WiMAX hampir tidak ada dan vendor sangat berfokus pada teknologi akses radio lainnya yang ada. 5G akan sangat bergantung pada sel kecil dan menghadirkan peluang bisnis yang cukup besar.

7.5.1 2G GSM/GPRS Femtocells

Femtocell 2G dirancang untuk mendukung standar radio GSM, GPRS, dan EDGE. Femtocell ini menyediakan pelanggan tidak hanya layanan suara dan pesan, tetapi juga data seluler untuk melengkapi broadband nirkabel yang ada. Pelanggan 3G juga dapat menggunakan femtocell

ini dengan perangkat seluler mode ganda 2G/3G. Teknologi ganda tidak dicerminkan dalam femtocell 3G dan dengan demikian mengecualikan basis pelanggan 2G.

Sel kecil ini sesuai dengan spesifikasi 3GPP dalam hal konektivitas, keamanan, layanan, dan operasi. Sel kecil terhubung ke jaringan inti GSM menggunakan IPsec (keamanan IP), sehingga memastikan keamanan antara sel kecil dan operator. Spesifikasi produk femtocell 2G yang khas^[13] ditunjukkan pada Tabel 7.4.

7.5.2 Sel Femto UMTS 3G

Femtocell 3G UMTS digunakan untuk memperluas cakupan WCDMA dan kapasitas HSPA di tempat tinggal. Pengguna akhir hanya menyediakan daya dan koneksi broadband dan femtocell mulai beroperasi tanpa campur tangan pengguna tambahan. Beberapa femtocell UMTS juga menyediakan antarmuka pemrograman aplikasi yang memungkinkan penyedia layanan seluler untuk memanfaatkan kemampuan jaringan yang unik, seperti lokasi dan kehadiran, untuk lebih memungkinkan aplikasi baru yang inovatif. Spesifikasi produk femtocell 3G UMTS^[14-16] ditunjukkan pada Tabel 7.5.

7.5.3 3G CDMA2000 Femtocell

Dapat dikatakan dengan aman bahwa sel femto pertama didasarkan pada teknologi CDMA2000. Femtocell ini mendukung standar CDMA2000 1X dan CDMA2000 1xEV-DO. Karakteristik femtocell berbasis CDMA2000^[17] ditunjukkan pada Tabel 7.6.

7.5.4 LTE Femtocell

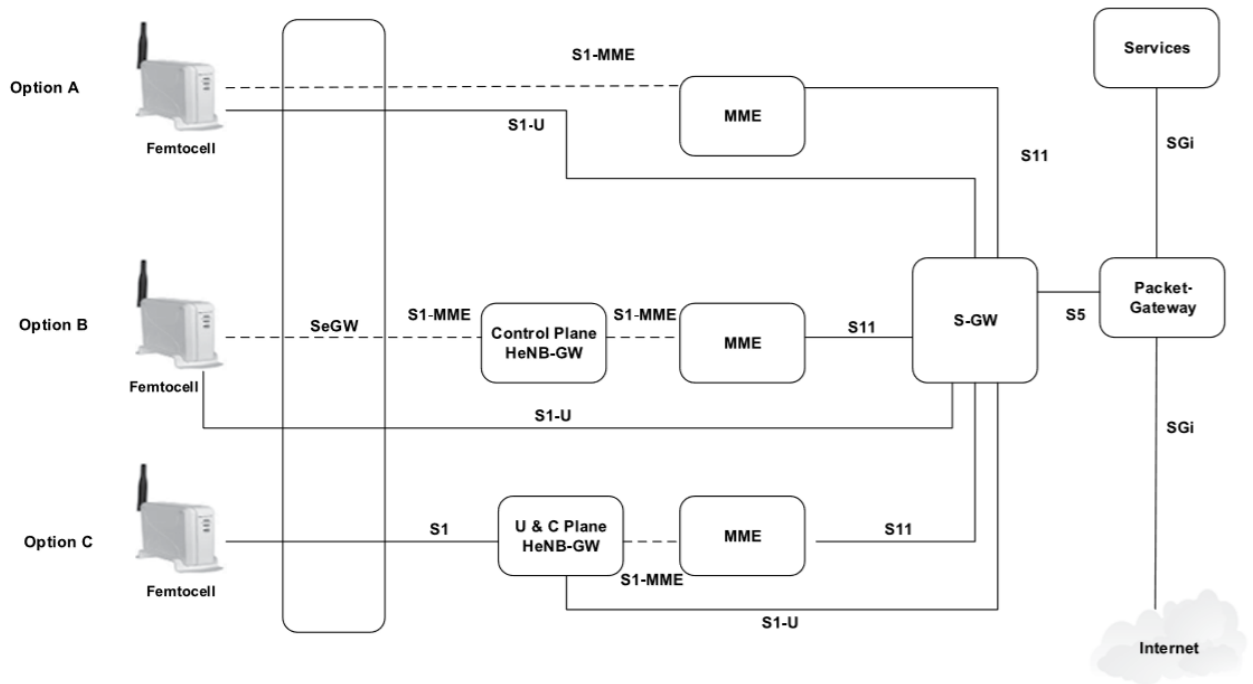
Tidak seperti teknologi 3G, proses standarisasi untuk sel femto LTE dimulai bersama dengan standarisasi LTE lainnya. Femtocell LTE atau HeNB (Home Enhanced Node B) dapat dihubungkan ke EPC (Enhanced Core Network) dalam tiga cara berbeda seperti yang ditentukan dalam 3GPP TR 23.830^[18]. Dalam^[18] juga mendefinisikan elemen penting lain dari arsitektur, yaitu, HeNB Gateway. Penempatannya menentukan model arsitektur mana yang diikuti oleh operator. Arsitektur femto juga terdiri dari SeGW (gerbang keamanan) yang dapat berupa entitas fisik terpisah atau colocated. Ini menyediakan fungsi keamanan untuk tautan backhaul yang menghubungkan titik akses femto dan jaringan inti.

Tabel 7.4 Spesifikasi Femtocell GSM 2G	
Atribut	Deskripsi
Radio Standard	3GPP release 6—GSM, GPRS, EDGE
Frequency Band	GSM 1800, GSM 900 Konektor opsional untuk antena eksternal (mis., GPS)
Atena	Normalnya single, lainnya 800 MHz atau atena 1900 MHz
Timeslot	Total 8 <ul style="list-style-type: none"> • 7 untuk suara untuk suara atau data atau untuk lalu lintas suara dan data campuran • 1 untuk pensinyalan khusus
Security	Enkripsi Udara GSM A5/0, A5/1, A5/3
Voice Call	Simulasi voice call 10-15
Speech Support	Full rate, half rate, AMR (adaptive multi-rate) audio codec
O&M Support	GPRS CS1–4 (skema pengkodean) 8–20 kbps, EDGE MCS1–9 (modulasi dan skema pengkodean) 118.4–296 kbps

Power Supply	3GPP berbasis O&M
Physical Dimension	H: 120-200 mm W: 130-220 mm D : 30-70 mm
Wight	400-700 gram
Operating Temperature	0°C hingga +45°C

Tabel 7.5 Spesifikasi Femtocell GSM 3G	
Atribut	Deskripsi
Radio Standard	WCDMA Rel-99, HSPA
Fequency Band	1900 MHz, 2100 MHz
Atena	Omni
Data rate	3GPP Rilis 6 HSDPA pada 14,4 Mbps dan HSUPA pada 5,76 Mbps
User's Support	4–8 sesi suara dan data secara bersamaan
Security	Antarmuka USIM (Modul Identitas Pelanggan Universal) IPsec, AES (standar enkripsi lanjutan), SHA (algoritme aman), DES (standar enkripsi data)
Sensitivity	–105 to –115 dBm
Network Interface	10/100 Base-T RJ45
Power Supply	12 V DC, 100–240 V AC (External AC/DC adaptor)
Power Output	20 mW per carrier (maximum)
Weight	300–700 gm (tanpa power supply)
Operating Temperature	0°C to +45°C
Physical Dimension	H: 120–200 mm W: 130–220 mm D: 30–40 mm

Tabel 7.6 Spesifikasi Femtocell CDMA2000/EV-DO	
Atribut	Deskripsi
Radio Standard	CDMA2000 1X, EV-DO (revisions 0, A, B)
Fequency Band	800 MHz, 1900 MHz
Atena	Omni
Data rate	4.915 Mbps (downlink) and 1.8 Mbps (uplink) per carrier
User's Support	8 simultaneous voice dan data sessions
Network Interface	10/100 base-T RJ45
Power Supply	100 V–240 V AC
Transmitt Power	20 mW per carrier
Weight	<500 gram
Operating Temperature	0°C to +45°C
Physical Dimension	H: 180–200 mm W: 130–150 mm D: 30–40 mm



Gambar 7.5 Pilihan arsitektur femtocell LTE.

Tabel 7.7 Spesifikasi Femtocell LTE

Attributes	Description
Radio standard	LTE/LTE-advanced (release 8+)
Frequency bands	1800, 2600 MHz
Bandwidth	5/10/15/20 MHz
Antennas	Omni or directional
Data rates	150 Mbps (downlink) and 50 Mbps (uplink) per 20 MHz carrier
MIMO	2 × 2
Security	IPSec
Synchronization	IEEE 1588v2, GPS
Network interfaces	10/100 base-T RJ45
Power supply	100 V–240 V AC
Transmit power	13–26 dBm per TX channel
Weight	400 grams to 2 kg
Operating temperature	–5°C to +45°C
Physical dimension	H: 170–250 mm W: 130–200 mm D: 30–50 mm

Sumber: Airspan 2016. *AirVelocity & AirDensity; Sel Kecil Sercom FDD-LTE*. <http://www.sercomm.com/contpage.aspx?langid=1&type=prod3&L1id=2&L2id=1&L3id=1&Pridid=63>; Solusi Sel Kecil BTI Wireless 2015. <http://www.btiwireless.com/products/small-cells/> [21–23].

Jika arsitektur tidak memiliki HeNB-GW, antarmuka S1 menghubungkan femtocell LTE langsung ke Mobility Management Entity (MME) dan Serving Gateway (S-GW). Pada opsi kedua, HeNB-GW hanya mengumpulkan lalu lintas CP (bidang kontrol) dari beberapa HeNB dan mengirimkannya ke MME. Pada opsi ketiga, HeNB-BW mengumpulkan lalu lintas CP dari

femtocell dan mengirimkannya ke MME dan juga mengambil lalu lintas UP dan mengirimkannya ke S-GW seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.5^[19,20].

Karakteristik femtocell LTE ditunjukkan pada Tabel 7.7.

7.6 SSGN-MME Node

SGSN dan MME adalah dua elemen jaringan utama dari jaringan inti packet-sw ITC hed. SSGN (Serving GPRS Support Node) sebagai produk bidang kontrol (pensinyalan), bertanggung jawab untuk pengiriman, perutean paket, dan manajemen mobilitas paket data di jaringan GSM dan UMTS. MME, di sisi lain, kurang lebih melakukan fungsi yang sama, tetapi dalam LTE. GPRS/UMTS yang mendukung produk SGSN telah ditingkatkan ke server mobilitas gabungan SGSN-MME untuk mendukung empat teknologi akses 3GPP, yaitu GSM, WCDMA, LTE, dan LTE-Advanced^[24-26]. Beberapa detail mengenai komponen perangkat keras dan perangkat lunak pada sub bab 7.7 dan sub ab 7.8.

7.7 Komponen Hardware

Node atau elemen jaringan ini didasarkan pada Arsitektur Komputasi Telekomunikasi Tingkat Lanjut (yaitu, ATCA). ATCA adalah serangkaian spesifikasi PICMG (PCI Industrial Computer Manufacturers Group), yang dirancang untuk menyediakan arsitektur multi-vendor terbuka, yang memenuhi persyaratan untuk peralatan komunikasi kelas pembawa generasi berikutnya^[27].

Struktur fisik rumah simpul di kabinet standar 19 inci terdiri dari subrak yang berisi papan fisik. Area papan subrak memiliki sejumlah slot khusus di sisi depan dan belakang. Papan dapat dimasukkan dari sisi depan dan sisi belakang subrack. Papan fisik utama dan fungsinya adalah sebagai berikut:

- Base Sw ITC h Unit digunakan untuk mensw ITC h paket control plane pada subrack yang sama atau antar subrack.
- Fabric Unit digunakan untuk berpindah paket media plane (quality of service) antar subrack.
- Unit OMU bertanggung jawab atas operasi dan pemeliharaan dan ditempatkan di front board dengan redundansi aktif/siaga 1+1.
- Unit Control Plane bertanggung jawab untuk memproses layanan (fungsi manajemen signaling dan routing) pada control plane.
- Antarmuka Penerusan Paket bertanggung jawab untuk memproses layanan (penerusan paket) pada bidang pengguna.
- Antarmuka Multi-Protokol dapat dikonfigurasi untuk koneksi IP dengan port listrik Fast Ethernet/Gigabit Ethernet (FE/GE) atau port optik GE di papan belakang.

Tabel 7.8 Spesifikasi SGSN-MME

Attributes	Description
Cabinet dimensions	2200 mm * 600 mm* 800 mm (HxWxD)
Full configuration	3 cabinets with 3 subracks in each cabinet
Total weight	100–120 kg (empty cabinet) 300–400 (3 full subracks in a cabinet)
Capacity (full configuration)	<ul style="list-style-type: none"> • 2G/3G: 10–13 million simultaneously • LTE: 12–16 million simultaneously • eNodeB: 25000–50,000 • Serving gateway (LTE): 3000–4000
Data throughput	Gb over IP (SGSN and BSC): 3–7 Gbps Iu over IP (SGSN and RNC): 25–40 Gbps
Concurrent bearers activated by a UE	11
Signalling indices	64 kbps and 2 Mbps links
Interface indices	FE/GE/E1/T1/STM-1/STM-4
Lowest clock accuracy	$\pm 4 \times 10^{-7}$
Power input	–60 V to –40 V DC
Power consumption	1500–3500 W (one sub rack)
Temperature	–40°C to +65°C
Mean time between failures (MTBF)	300,000–1,100,000 hours
System availability	$\geq 99.999\%$

7.8 Komponen Software

Node SGSN-MME dapat menggunakan struktur perangkat lunak modular dan hierarkis di mana modul fungsional perangkat lunak didistribusikan dalam berbagai jenis papan. Komponen tersebut antara lain sistem operasi berbasis Linux, teknologi middleware seperti DOPRA/TULIP (Distributed Objectoriented Programmable Real-time Architecture/Telecom Universal Integrated Platform), yang diterapkan pada sistem operasi dan aplikasi (seperti pemrosesan layanan, pemrosesan protokol, dll.), membuat perangkat lunak layanan lapisan atas tidak relevan dengan sistem operasi dan aplikasi lapisan bawah.

7.9 Spesifikasi

Tabel 7.8 menunjukkan konfigurasi tipikal dari node SGSN-MME.

7.10 Stasiun Basis 5G dan Sel Kecil

Standar 5G sedang dalam pengembangan sehingga spesifikasi stasiun pangkalan yang tepat masih belum diketahui. Namun, banyak yang diketahui, seperti BTS ini akan mendukung frekuensi gelombang milimeter, C-RAN, satu atau lebih bentuk gelombang, agregasi pembawa, IoT, dan setidaknya 2×2 MIMO^[28-30]. Selain itu, seperti LTE dan LTE-Advanced, base station akan langsung berkomunikasi dengan jaringan inti dan tidak akan ada entitas terpisah, yaitu radio controller.

Kumpulan baseband stasiun pangkalan 5G akan menyediakan pemrosesan terpusat dan terhubung ke RRU. Ini akan mengelola operasi dan pemeliharaan, pemrosesan sinyal, dan jam sistem. Ini akan menyediakan port fisik untuk menghubungkan stasiun pangkalan ke jaringan

transportasi untuk pertukaran informasi, port CPRI untuk konektivitas dengan RRU, dan port untuk komunikasi dengan perangkat pemantauan lingkungan. RRU, di sisi lain, memodulasi, mendemodulasi, menggabungkan, dan membagi sinyal baseband dan RF, dan mendukung operasi dual/multimode. Spesifikasi stasiun basis 5G/sel kecil hipotetis ditunjukkan pada Tabel 7.9.

Tabel 7.9 Spesifikasi Sel Kecil/Stasiun Berbasis 5G

Attributes	5G Macro Base Station	5G Small Cell
Physical dimensions (H*W*D)	900 mm × 600 mm × 450 mm	120–200 mm × 130–220 mm 30–40 mm
Capacity	One 20 MHz LTE carrier Three 50 MHz 2 × 2 MIMO (5G carriers)	One 50 MHz 2 × 2 MIMO (5G carrier)
Operating frequencies	1800 MHz for LTE 28/37/39 GHz for 5G	28 or 37 or 39 GHz for 5G
Power consumption (Watts)	40 W, 80 W, 120 W per carrier	13–26 dBm per TX channel
Power supply	–48 V DC, +24 V DC 110 V AC, 220 V AC	100 V – 240 V AC
Operating temperature	–40°C to +55°C	–5°C to +45°C
Baseband units/pool	4–6	N/A
RRUs per BBU	4–10	N/A
MTBF	≥120,000 hours	≥100,000 hours

7.11 Kesimpulan

Jaringan telekomunikasi terdiri dari sejumlah produk dan setiap produk tersebut dapat berisi sejumlah komponen dan IC. Bab ini menjelaskan secara singkat produk telekomunikasi utama tertentu, yaitu stasiun pangkalan multistandar, sel femto, dan node SSGN-MME. Produk-produk ini diharapkan dapat berlanjut di jaringan 5G dalam satu bentuk atau lainnya.

7.12 Pertanyaan

1. Jelaskan pengertian pengembangan produk?
2. Apa itu radio multi-standar menurut 3GPP?
3. Apa saja komponen utama dari stasiun pangkalan?
4. Apa saja fungsi utama pengontrol stasiun pangkalan (jaringan radio)?
5. Bagaimana RRM mengelola alokasi saluran?
6. Tentukan fungsi utama pengontrol OMU?
7. Definisikan sel kecil dan berikan dua contohnya?
8. Apa itu femtocell dan mengapa konektivitas broadband kabel diperlukan untuk pengoperasiannya?
9. Apa saja tiga pilihan konektivitas HeNB?
10. Jelaskan fungsi SGSN-MME dan unit-unit kuncinya?
11. Tentukan karakteristik utama dari stasiun pangkalan 5G?

7.13 Referensi

1. WebFinance, Inc. 2014. Product Development.
<http://www.businessdictionary.com/definition/productdevelopment.html>
2. Asif, S.Z. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
3. ABIresearch 2010. Software Defined Multi-standard Base Stations.
<http://www.abiresearch.com/research/1002717-Software+Defined+Multi-standard+Base+Stations>

4. 3GPP TS 37.104 (V11.3.0) 2012 E-UTRA, UTRA and GSM/EDGE; Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS) Radio Transmission and Reception. Technical Specification (Release 11), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, December.
5. Huawei 2009. 3900 Series Base Station.
6. Nokia Siemens Network 2009. Flexi Multiradio BTS.
7. ZTE 2011. ZXUR 9000.
8. Nokia Siemens Network 2011. Multicontroller RNC mcRNC1.0.
9. Huawei 2011. SRAN6.0 BSC6900.
10. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.
11. Small Cell Forum Ltd. 2012. Small cells—What’s the big idea?
12. Jean-Christophe, N. and Barry, S. 2012. Small Cells Call for Scalable Architecture. Freescale.
13. HSL 2010. HSL 2.75G Femtocell.
14. Samsung 2008. Samsung HSPA UbiCell.
15. Alcatel-Lucent 2011. Alcatel-Lucent 9361 Home Cell V2.
16. NetGear 2011. 3G Femtocell Ethernet WAN to 3G HSPA MF100H.
17. Ubee–AirWalk 2012. EdgePoint.
18. 3GPP TR 23.830 (V9.0.0) 2009. Architecture Aspects of Home NodeB and Home eNodeB. Technical Report (Release 9), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, September.
19. Nokia Siemens Network 2011. Improving 4G Coverage and Capacity Indoors and at Hotspots with LTE Femtocells.
20. Femtoforum 2011. HeNB (LTE Femto) Network Architecture
21. Airspan 2016. AirVelocity & AirDensity.
22. Sercom FDD-LTE Small Cell.
<http://www.sercomm.com/contpage.aspx?langid=1&type=prod3&L1id=2&L2id=1&L3id=1&Prodid=63>
23. BTI Wireless 2015. Small Cell Solutions. <http://www.btiwireless.com/products/small-cells/>
24. Ericsson 2014. Ericsson SGSN-MME.
<http://www.ericsson.com/ourportfolio/products/sgsn-mme>
25. Huawei 2010. USN9810 Unified Service Node.
26. ZTE 2011. ZXUN uMAC.
27. PICMG 2014. AdvancedTCA® Overview.
<https://www.picmg.org/openstandards/advancedtca/>
28. National Instruments 2016. mmWave: Battle of the Bands.
29. Fierce Wireless Tech 2016. 5G: What To Expect Before 2020.
30. Zheng, M.A. et al. 2015. Key Techniques for 5G Wireless Communications: Network Architecture, Physical Layer, and MAC Layer Perspectives. Science China Information Sciences, 58:041301:1–041301:20.

BAGIAN IV

BAB 8

RANCANGAN JARINGAN, MANAJEMEN MOBILITAS, DAN PENYEBARAN

Arsitektur jaringan seluler telah melalui sejumlah perubahan evolusioner. Perubahan telah terjadi selama tiga dekade terakhir dan selama durasi ini, jaringan ini telah bertransisi dari satu generasi ke generasi lainnya. Sistem generasi pertama adalah analog, circuit-sw ITC hed, dan berumur pendek. Sistem generasi kedua, berdasarkan teknologi digital, mulai muncul pada 1990-an dan masih digunakan. Sistem 3G diperkenalkan pada awal 2000-an, sementara sistem 4G (LTE-Advanced) saat ini sedang diluncurkan. Sistem 5G, berdasarkan persyaratan IMT-2020 ITU-R, sedang dalam tahap penelitian dan standarisasi dan komersialisasi diharapkan pada tahun 2020-an. Dapat dicatat bahwa semua arsitektur jaringan seluler terdiri dari empat area, yaitu jaringan akses radio, jaringan inti, operasi jaringan, dan konektivitas antara ketiganya yang didukung melalui jaringan transportasi.

Bab ini akan fokus pada arsitektur jaringan teknologi 2G GSM, 3G UMTS³², LTE, dan 4G (LTE Advanced). Pandangan mendalam tentang arsitektur jaringan 5G disajikan di Bagian 8.4, sementara aspek manajemen mobilitas dan penyebaran jaringan diilustrasikan di Bagian 8.5 dan 8.6, masing-masing.

8.1 Rancangan Jaringan GSM 2G

Jaringan 2G GSM terdiri dari tiga sistem kunci yang saling berhubungan, yaitu base station subsystem (BSS), NSS, dan operation support system (OSS). BSS (yaitu, area akses radio) terdiri dari BTS dan BSC (pengendali stasiun pangkalan). NSS (yaitu, area jaringan inti) terdiri dari MSC (pusat sw ITC hing seluler), dan database, termasuk HLR (register lokasi rumah), VLR (register lokasi pengunjung), EIR (Daftar Identitas Peralatan), dan AuC (pusat otentikasi) . MSC terhubung ke beberapa basis data ini secara langsung dan ke PSTN (jaringan telepon umum yang dialihkan) untuk konektivitas darat.

Kemudian, packet sw ITC hing ditambahkan untuk mendukung layanan data dengan bantuan GPRS. GPRS membawa SGSN dan GGSN (Gateway GPRS Support Node) ke arsitektur jaringan. GGSN terhubung ke server aplikasi internal operator untuk layanan bernilai tambah³³ dan jaringan data paket eksternal (mis., Internet). Gambar 8.1 menunjukkan arsitektur tingkat tinggi dari arsitektur GSM-GPRS. Detail tentang berbagai komponen dapat ditemukan di^[1,2].

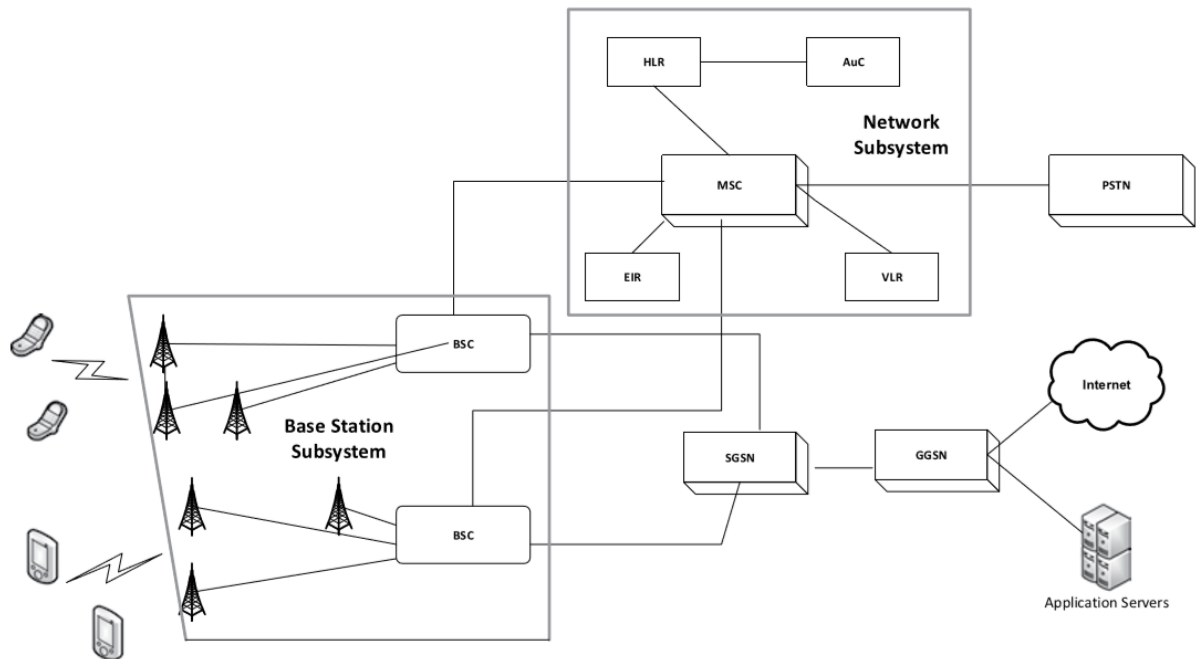
8.2 Rancangan Jaringan UMTS 3G

Perubahan utama dalam UMTS dari GSM berbasis TDM adalah pengenalan skema akses ganda yang inovatif yang disebut CDMA. Teknik CDMA menggunakan frekuensi yang sama, tetapi kode unik untuk membedakan penggunaannya. CDMA adalah bahan dasar yang digunakan di semua standar 3G utama (CDMA2000, TD-SCDMA, dan UMTS), tidak termasuk WiMAX^[1-4].

Mulai dari 3GPP Release-99, beberapa perubahan telah dilakukan pada arsitektur 3G UMTS di hampir setiap rilis berikutnya. Gambar 8.2 menunjukkan transisi arsitektur dari Rel 99 ke Rel-7.

³² Rincian 2G lainnya (IS-54, IS-95) dan 3G (CDMA2000 (standar 3GPP2 3G), TD-SCDMA (standar 3G China) dapat ditemukan di^[1].

³³ Beberapa Layanan Nilai Tambah dibahas di Bab 13 Aplikasi Seluler
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)



Gambar 8.1 Arsitektur jaringan GSM-GPRS.

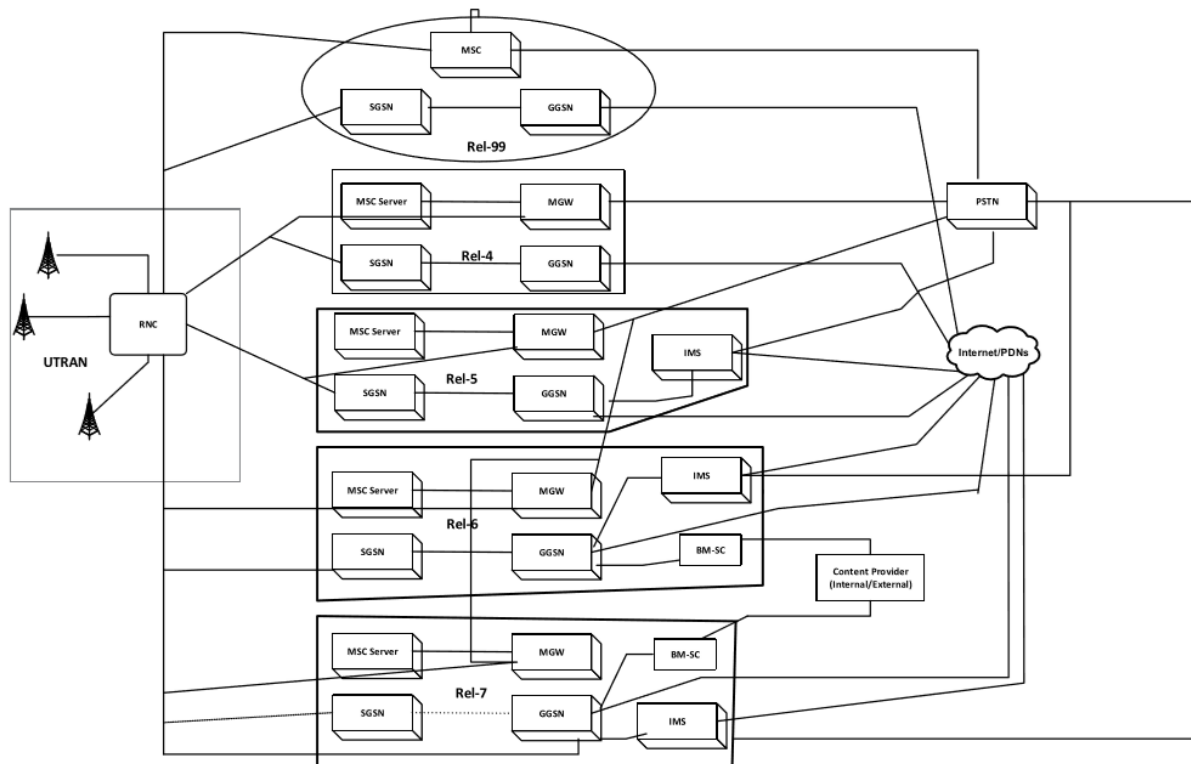
Rel-99, yang dibekukan secara fungsional³⁴ pada bulan Desember 1999, menghadirkan WCDMA (CDMA pita lebar). WCDMA mendukung 2 Mbps di downlink menggunakan saluran 5 MHz. Bagian radio Rel99 yang disebut UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) terhubung ke jaringan inti yang pada dasarnya adalah jaringan inti GSM-GPRS. UTRAN terdiri dari BTS (NodeB) dan RNC (pengontrol jaringan radio) di mana RNC melakukan fungsi yang sama seperti BSC, tetapi hanya untuk UMTS. Rel-4 datang berikutnya dan menambahkan TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA) dan EDGE ke gambar menggunakan jaringan inti yang sama dan dibekukan secara fungsional pada Maret 2001. Perbedaan arsitektur utama dari R-99 adalah pembagian MSC (Mobile Sw ITC hing Center) menjadi MSCServer dan MGW (Media Gateway).

Rel-5 membawa IMS (IP Multimedia Subsystem) sebagai bagian dari jaringan inti. IMS mendefinisikan kerangka kerja standar untuk penyebaran aplikasi dan layanan berbasis IP generasi berikutnya. Ini adalah akses independen, berkomunikasi melalui IP menggunakan SIP (Session Initiation Protocol), dan berlaku untuk jaringan tetap dan seluler. IMS hanya mengimplementasikan prosedur pensinyalan dan fungsi umum aplikasi, tetapi tidak menawarkan layanan itu sendiri. Dengan demikian, IMS adalah sistem pensinyalan terbuka, berdasarkan teknologi Internet standar, yang mendukung migrasi aplikasi Internet (seperti VoIP (voice over IP), konferensi video, pesan, dll.) ke lingkungan seluler dan menawarkan kemampuan kontrol layanan yang ditingkatkan^[3,4,6].

Rel-5, yang dibekukan secara fungsional pada Juni 2002, menambahkan HSDPA (Akses Paket Downlink Berkecepatan Tinggi), yang mendukung kecepatan data puncak 14,4 Mbps di downlink. Rel-6 memperkenalkan HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), mendukung kecepatan data puncak 5,76 Mbps di uplink dan dibekukan secara fungsional pada Maret 2005. Peningkatan utama lainnya dari Rel-6 adalah MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast

³⁴ Setelah "pembekuan", tidak ada fungsi tambahan yang dapat ditambahkan ke dalamnya. Namun, spesifikasi protokol rinci (tahap 3) mungkin belum lengkap. Spesifikasi Teknis "beku" adalah yang tidak dapat memiliki Permintaan Perubahan kategori B atau C (fungsi baru atau yang dimodifikasi) lebih lanjut, selain untuk menyelaraskan tahap sebelumnya dengan tahap selanjutnya^[5].

Service) untuk mengaktifkan mobile TV kepada pengguna melalui jaringan UMTS. MBMS diaktifkan dengan memperkenalkan node fungsional yang disebut BM-SC (Broadcast Multicast Service Center) di jaringan inti.



Gambar 8.2 Arsitektur jaringan 3GPP UMTS (Rel-99 hingga Rel-7).

Rel-7 membawa HSPA+ (Evolved HSPA) yang mendukung 28 Mbps di downlink dan 11,5 Mbps di uplink. Ini memperkenalkan konsep Direct Tunneling (DT) di jaringan inti. DT memungkinkan pemisahan antara bidang kontrol dan bidang pengguna menuju jaringan inti paket. Hal ini memungkinkan SGSN untuk membuat bidang pengguna langsung antara RAN dan GGSN dalam domain packet-sw ITC hed. SGSN mengelola pensinyalan bidang kontrol dan memutuskan apakah satu atau dua terowongan diperlukan. Ketika hanya satu terowongan yang dibuat, lalu lintas pesawat pengguna melewati SGSN, menjadikan SSGN sebagai entitas pensinyalan saja^[7].

8.3 Rancangan Jaringan LTE dan 4G (LTE-Advanced)

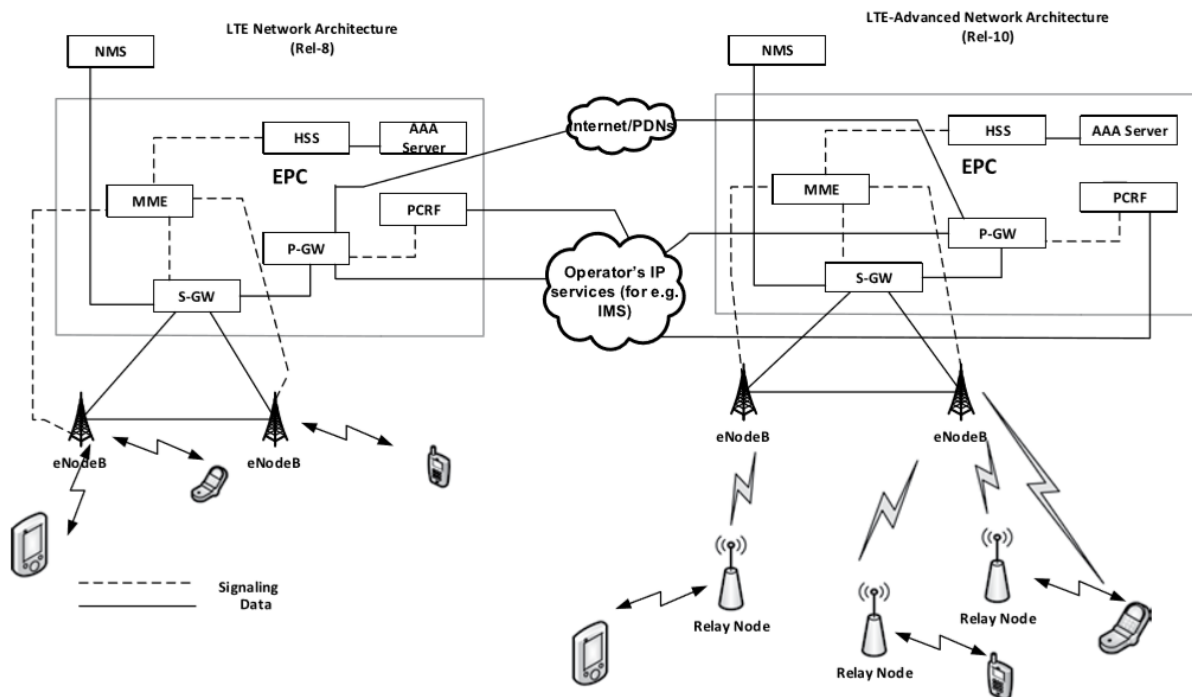
3GPP Rel-8 memperkenalkan arsitektur IP datar di bawah payung EPS (Evolved Packet System). EPS terdiri dari E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) yang biasa dikenal dengan LTE (Long Term Evolution) dan EPC (Evolved Packet Core). Rel-8 dibekukan secara fungsional pada Desember 2008.

E-UTRAN hanya terdiri dari satu jenis elemen jaringan fisik, yaitu eNodeB, dan tidak ada entitas terpisah dalam bentuk BSC atau RNC. Semua fungsi radio yang khas dan lapisan MAC, RLC (Radio Link Control Layer), dan RRC (Radio Resource Control) adalah bagian dari eNodeB. EPC terdiri dari tiga elemen utama yaitu MME, SGW (Serving Gateway), dan PGW (Packet Gateway). Fungsi utama MME adalah untuk mengatur mobilitas UE (peralatan pengguna)³⁵ dan identitas UE dan terhubung ke E-UTRAN melalui antarmuka S1-MME. SGW melakukan

³⁵ UE dan perangkat digunakan secara bergantian. Perangkat dapat mencakup UE, CPE (peralatan tempat pelanggan), dan handset, dan mencakup hal-hal seperti yang dijelaskan dalam InteNRet of Things
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

mobilitas penahan untuk serah terima intereNodeB dan sistem antar-3GPP. PGW adalah jangkar mobilitas untuk pergerakan antara sistem akses 3GPP dan non-3GPP. PGW terhubung ke PDN eksternal (jaringan paket data), layanan IMS operator dan non-IMS IP, dan menyediakan akses untuk jaringan IP non-3GPP tepercaya dan tidak tepercaya.

EPC juga mempertahankan HSS (server pelanggan rumah) untuk menyimpan informasi langganan pengguna, server AAA (otentikasi, otorisasi, dan akuntansi) untuk menentukan identitas dan hak istimewa pengguna, aktivitas pelacakan, dan PCRF (fungsi kebijakan dan aturan pengisian) untuk menegakkan pengisian dan kebijakan QoS^[3].



Gambar 8.3 Arsitektur jaringan LTE dan LTE-Advanced.

Rel-9, yang dibekukan secara fungsional pada Desember 2009, tidak membawa perubahan arsitektur apa pun pada EPS. LTE-Advanced (4G) diperkenalkan di Rel-10, yang dibekukan secara fungsional pada Juni 2011. LTE-Advanced menggunakan EPC yang sama dengan jaringan inti sambil membuat beberapa peningkatan pada antarmuka udara dan E-UTRAN. LTE-Advanced mengusung konsep relay node dalam E-UTRAN untuk coverage yang lebih luas dan QoS yang lebih baik. Node relai terhubung ke eNodeB donor melalui antarmuka udara radio Un, yang dimodifikasi dari antarmuka udara Uu. Donor eNodeB tidak hanya melayani UE sendiri di sel yang melayani, tetapi juga berbagi sumber daya radio dengan node relay^[8].

Rel-11, Rel-12, dan Rel-13, yang dibekukan secara fungsional masing-masing pada Juni 2013, Maret 2015, dan Maret 2016, tidak membawa teknologi akses radio baru maupun perubahan arsitektur apa pun. Arsitektur EPS yang mencakup LTE dan LTE-Advanced ditunjukkan pada Gambar 8.3.

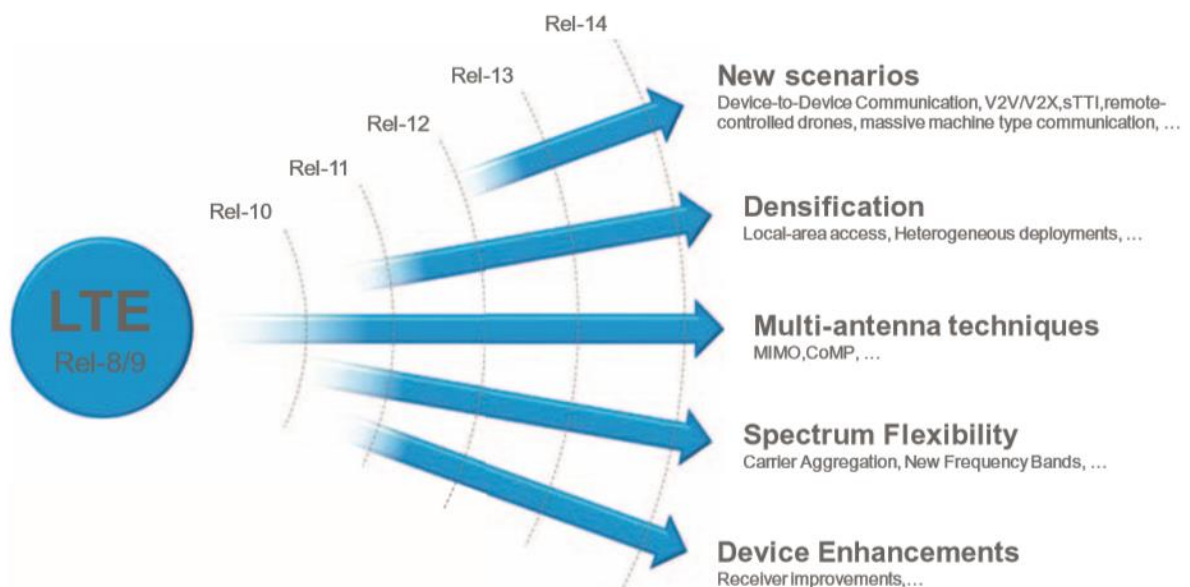
8.3.1 Evolusi LTE

Rilis 8 dan 9 membentuk dasar LTE, menyediakan standar mobilebroadband yang sangat mumpuni. Namun, untuk memenuhi persyaratan dan harapan baru, rilis yang mengikuti rilis dasar memberikan peningkatan dan fitur tambahan di area yang berbeda. Gambar 8.4a

mengilustrasikan beberapa area utama di mana LTE telah berkembang selama 10 tahun sejak diperkenalkan dengan rincian sebagai berikut.

Rilis 10 menandai awal dari evolusi LTE. Salah satu target utama LTE rilis 10 adalah untuk memastikan bahwa teknologi akses radio LTE sepenuhnya sesuai dengan persyaratan IMT-Advanced, sehingga nama LTEAdvanced sering digunakan untuk LTE rilis 10 dan yang lebih baru. Namun, selain persyaratan ITU, 3GPP juga menetapkan target dan persyaratannya sendiri untuk LTEAdvanced [10]. Target/persyaratan ini memperluas persyaratan ITU baik dalam hal menjadi lebih agresif maupun termasuk persyaratan tambahan. Salah satu persyaratan penting adalah kompatibilitas ke belakang. Pada dasarnya ini berarti bahwa perangkat LTE rilis sebelumnya harus dapat mengakses operator yang mendukung fungsionalitas rilis-10 LTE, meskipun jelas tidak dapat memanfaatkan semua fitur rilis-10 dari operator tersebut. Prinsip kompatibilitas mundur adalah penting dan telah dipertahankan untuk semua rilis LTE, tetapi juga memberlakukan beberapa batasan pada peningkatan yang mungkin dilakukan; pembatasan yang tidak ada saat mendefinisikan standar baru seperti RN.

LTE rilis 10 selesai pada akhir 2010 dan memperkenalkan fleksibilitas spektrum LTE yang ditingkatkan melalui agregasi operator, transmisi multiantena yang diperluas lebih lanjut, dukungan untuk relai, dan peningkatan di sekitar koordinasi interferensi antar sel dalam penyebaran jaringan yang heterogen.



Gambar 8.4a Evolusi LTE

Rilis 11 semakin memperluas kinerja dan kemampuan LTE. Salah satu fitur yang paling menonjol dari LTE rilis 11, diselesaikan pada akhir 2012, adalah fungsi radiointerface untuk transmisi dan penerimaan multipoint terkoordinasi (CoMP). Contoh peningkatan lain dalam rilis 11 adalah peningkatan agregasi pembawa, struktur saluran kontrol baru (EPDCCH), dan persyaratan kinerja untuk penerima perangkat yang lebih canggih.

Rilis 12 selesai pada tahun 2014 dan berfokus pada sel kecil dengan fitur seperti konektivitas ganda, sel kecil on/off, dan (semi) dinamis TDD, serta pada skenario baru dengan pengenalan komunikasi perangkat-ke-perangkat langsung dan penyediaan komunikasi tipe mesin yang mengurangi kompleksitas.

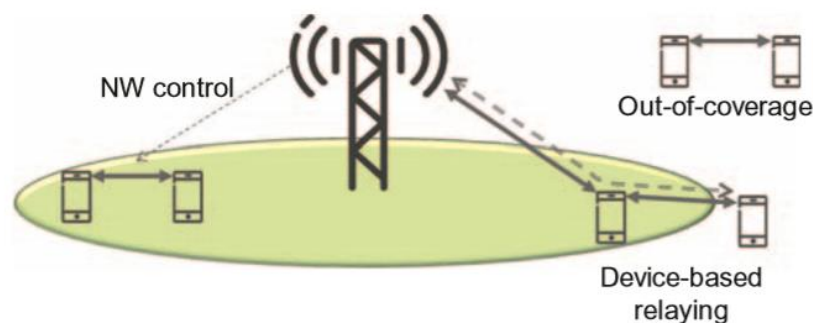
Rilis 13, diselesaikan pada akhir 2015, menandai dimulainya LTE Advanced Pro. Kadangkang dalam pemasaran dijuluki 4.5G dan dilihat sebagai langkah teknologi perantara antara 4G yang ditentukan oleh rilis pertama LTE dan antarmuka udara 5G RN. Akses berbantuan lisensi untuk mendukung spektrum tidak berlisensi sebagai pelengkap spektrum berlisensi, peningkatan dukungan untuk komunikasi tipe mesin, dan berbagai peningkatan dalam agregasi operator, transmisi multi-antena, dan komunikasi perangkat-ke-perangkat adalah beberapa sorotan dari rilis 13.

Rilis 14 selesai pada musim semi 2017. Selain peningkatan pada beberapa fitur yang diperkenalkan pada rilis sebelumnya, misalnya peningkatan pengoperasian dalam spektrum yang tidak berlisensi, rilis ini juga memperkenalkan dukungan untuk vehicle-to-vehicle (V2V) dan vehicle-to-everything (V2X) komunikasi, serta dukungan siaran area luas dengan jarak subcarrier yang dikurangi.

Rilis 15 akan selesai pada pertengahan 2018. Latensi yang berkurang secara signifikan melalui fitur yang disebut sTTI, serta komunikasi menggunakan antena adalah dua contoh peningkatan dalam rilis ini.

Secara umum, memperluas LTE ke kasus penggunaan baru di luar broadband seluler tradisional telah menjadi fokus untuk rilis selanjutnya dan evolusi akan berlanjut juga di masa depan. Ini juga merupakan bagian penting dari 5G secara keseluruhan dan menunjukkan bahwa LTE tetap penting dan bagian vital dari akses radio 5G secara keseluruhan.

8.3.2 Komunikasi Perangkat-ke-Perangkat



Gambar 8.4a Komunikasi perangkat-ke-perangkat

Sistem seluler, seperti LTE, dirancang dengan asumsi bahwa perangkat terhubung ke stasiun pangkalan untuk berkomunikasi. Dalam kebanyakan kasus, ini adalah pendekatan yang efisien karena server dengan konten yang diinginkan biasanya tidak berada di sekitar perangkat. Namun, jika perangkat tertarik untuk berkomunikasi dengan perangkat tetangga, atau hanya mendeteksi apakah ada perangkat tetangga yang menarik, komunikasi sentris jaringan mungkin bukan pendekatan terbaik. Demikian pula, untuk keselamatan publik, seperti petugas penanggap pertama yang mencari orang yang membutuhkan dalam situasi bencana, biasanya ada persyaratan bahwa komunikasi juga harus dimungkinkan tanpa adanya jangkauan jaringan.

Untuk mengatasi situasi ini, rilis 12 memperkenalkan komunikasi perangkat-perangkat berbantuan jaringan menggunakan bagian dari spektrum uplink (Gbr. 8.4a). Dua skenario dipertimbangkan ketika mengembangkan peningkatan perangkat-ke-perangkat, dalam cakupan serta komunikasi di luar jangkauan untuk keselamatan publik, dan dalam penemuan cakupan perangkat tetangga untuk kasus penggunaan komersial. Dalam rilis 13, komunikasi

perangkat-ke-perangkat lebih ditingkatkan dengan solusi relai untuk jangkauan yang lebih luas. Desain perangkat-ke-perangkat juga berfungsi sebagai dasar untuk pekerjaan V2V dan V2X dalam rilis 14.

8.3.3 Komunikasi Tipe Mesin

Machine-type communication (MTC) adalah istilah yang sangat luas, pada dasarnya mencakup semua jenis komunikasi antar mesin. Meskipun mencakup berbagai aplikasi yang berbeda, banyak di antaranya belum diketahui, aplikasi MTC dapat dibagi menjadi dua kategori utama, MTC masif dan komunikasi latensi rendah ultrareliable (URLLC).

Contoh skenario MTC masif adalah berbagai jenis sensor, aktuator, dan perangkat serupa. Perangkat ini biasanya harus berbiaya sangat rendah dan memiliki konsumsi energi yang sangat rendah, memungkinkan masa pakai baterai yang sangat lama. Pada saat yang sama, jumlah data yang dihasilkan oleh setiap perangkat biasanya sangat kecil dan latensi yang sangat rendah bukanlah persyaratan penting. URLLC, di sisi lain, sesuai dengan aplikasi seperti keselamatan/kontrol lalu lintas atau konektivitas nirkabel untuk proses industri, dan dalam skenario umum di mana keandalan dan ketersediaan yang sangat tinggi diperlukan, dikombinasikan dengan latensi rendah.

Untuk mendukung MTC besar-besaran dengan lebih baik, beberapa peningkatan telah diperkenalkan, dimulai dengan rilis 12 dan pengenalan kategori perangkat kelas bawah yang baru, kategori 0, yang mendukung kecepatan data hingga 1 Mbit/dtk. Mode hemat daya untuk mengurangi konsumsi daya perangkat juga ditentukan. Rilis 13 lebih meningkatkan dukungan MTC dengan mendefinisikan kategori-M1 dengan cakupan lebih lanjut dan dukungan untuk bandwidth perangkat 1,4 MHz, terlepas dari bandwidth sistem, untuk lebih mengurangi biaya perangkat. Dari perspektif jaringan, perangkat ini adalah perangkat LTE normal, meskipun dengan kemampuan terbatas, dan dapat dicampur secara bebas dengan perangkat LTE yang lebih mumpuni pada sebuah operator.

Internet-of-Things pita sempit (NB-IoT) adalah trek LTE paralel yang diselesaikan pada rilis 13. Ini menargetkan biaya dan kecepatan data yang bahkan lebih rendah daripada kategori-M1, 250 kbit/dtk atau kurang, dalam bandwidth 180 kHz, dan cakupan yang lebih ditingkatkan. Berkat penggunaan OFDM dengan jarak subcarrier 15-kHz, OFDM dapat digunakan inband di atas operator LTE, outband dalam alokasi spektrum terpisah, atau di guard band LTE, memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi bagi operator. Di uplink, transmisi pada satu nada didukung untuk mendapatkan cakupan yang sangat besar untuk kecepatan data terendah. NB-IoT menggunakan keluarga protokol lapisan yang lebih tinggi (MAC, RLC, dan PDCP) yang sama dengan LTE, dengan ekstensi untuk pengaturan koneksi yang lebih cepat yang berlaku untuk NB-IoT dan kategori-M1, dan oleh karena itu dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam penerapan yang ada.

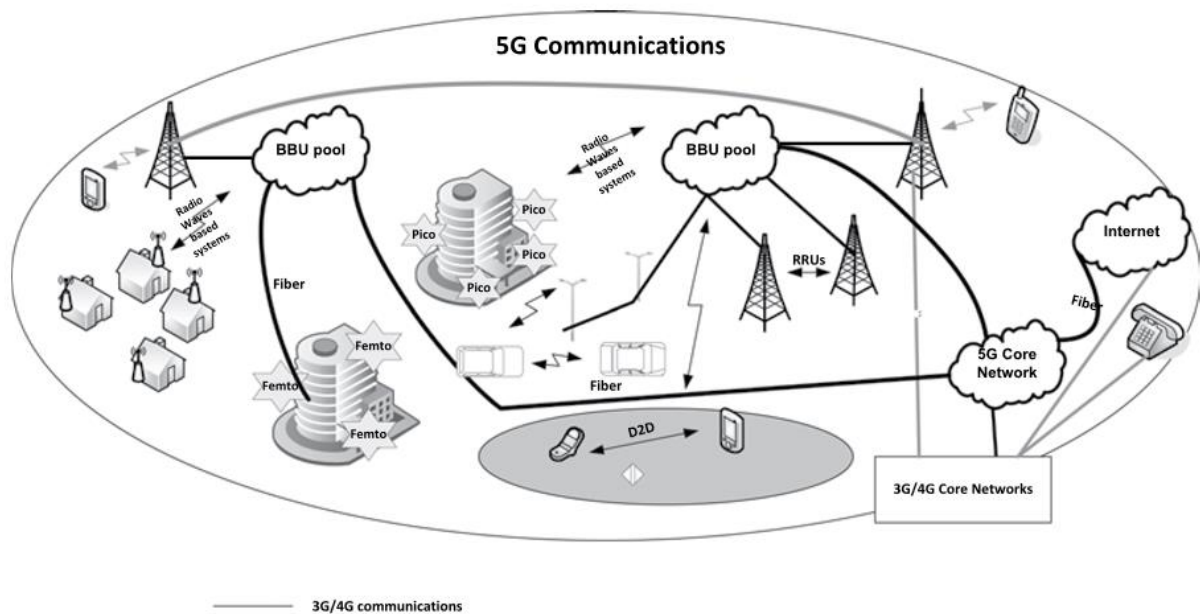
Baik eMTC dan NB-IoT akan memainkan peran penting dalam jaringan 5G untuk komunikasi tipe mesin yang masif. Sarana khusus untuk menyebarkan NR di atas operator yang sudah ada yang digunakan untuk komunikasi jenis mesin besar-besaran telah disertakan.

8.4 Rancangan Jaringan 5G Potensial

5G mewakili perubahan paradigma untuk jaringan seluler/broadband. Ini benar-benar mendorong ke arah virtualisasi dan jauh dari implementasi entitas jaringan monolitik. Ini membawa sejumlah tantangan dan ketidaktahuan bahwa sektor telekomunikasi sejauh ini

belum merangkul. Transformasi dari 3G/4G ke 5G akan sangat mendalam dan menantang karena pengguna menciptakan permintaan yang membutuhkan pendekatan baru untuk konektivitas, bandwidth, dan arsitektur jaringan. Bagian ini akan mengartikulasikan tiga pandangan arsitektur dari tingkat yang sangat tinggi ke tingkat yang jauh lebih dalam untuk pemahaman pembaca^[9-13].

3GPP bekerja sama dengan tujuh mitra organisasi³⁶ (atau SDO) bekerja untuk menghasilkan spesifikasi 5G yang akan mencakup arsitektur jaringan juga. Pekerjaan ini diharapkan akan selesai dalam tiga rilis, yaitu Rel-14, Rel-15, dan Rel-16. 3GPP berencana untuk mengajukan spesifikasi (proposal) tersebut sesuai dengan jadwal ITU-R. Proposal juga diharapkan dari IEEE-SA dan lainnya.



Gambar 8.4 Tampilan jaringan 5G 30.000 kaki.

8.5 30.000 kaki Pandangan Mata Burung

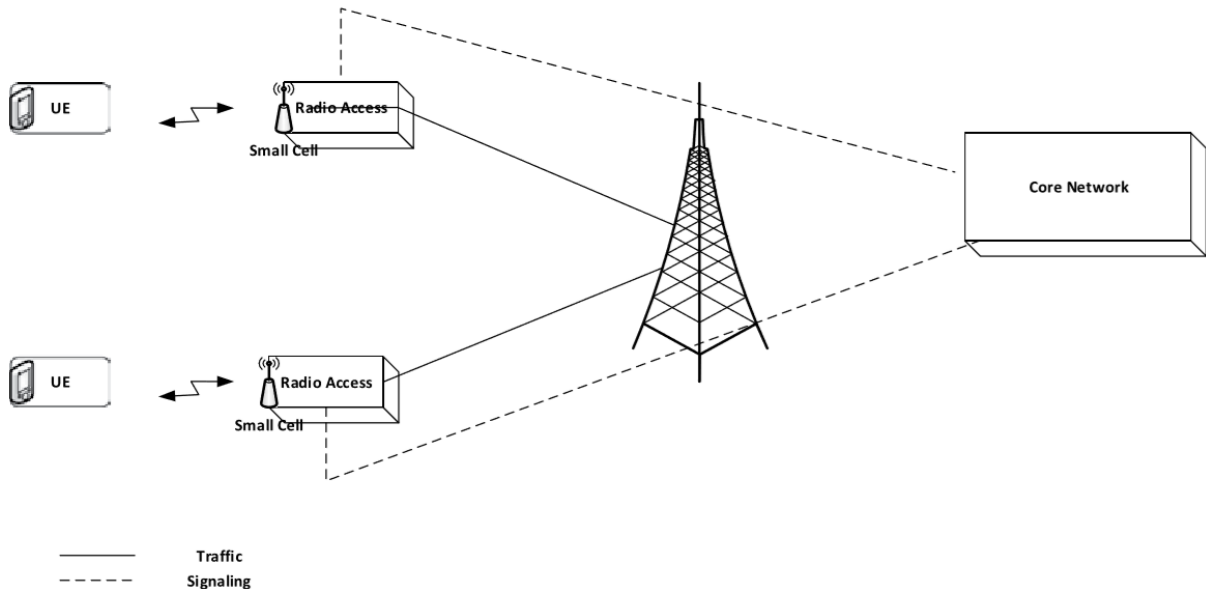
Desain jaringan 5G masih berkembang dan sektor ini akan membutuhkan waktu untuk membahas detailnya. Namun demikian, diharapkan arsitektur akan memanfaatkan fungsionalitas cloud dan sel-sel kecil secara maksimal. Pandangan mata burung 30.000 kaki, yang ditunjukkan pada Gambar 8.4, menyoroti segmen kunci dari arsitektur. Ini menunjukkan bahwa sel-sel kecil terhubung dengan kabel serat optik tampilan atau gelombang radio ke jaringan akses radio cloud (kolam BBU). Kumpulan BBU terhubung (yang disebut fronthaul) ke RRU (sel kecil atau sel makro) dan di-backhaul ke jaringan inti. Jaringan inti 5G dalam bentuk cloud terintegrasi dengan jaringan inti 3G/4G yang ada dan menyediakan konektivitas ke Internet.

8.6 Tampilan Jaringan 5G Level Tinggi

Jaringan 5G akan terdiri dari ribuan sel kecil yang membuat jaringan menjadi sangat padat. Densifikasi jaringan ini diperlukan untuk memenuhi persyaratan latensi dan throughput. Sel

³⁶ Asosiasi Industri dan Bisnis Radio (ARIB) Jepang, Aliansi untuk Solusi Industri Telekomunikasi (ATIS) AS, Asosiasi Standar Komunikasi China (CCSA), Institut Standar Telekomunikasi Eropa (ETSI), Masyarakat Pengembangan Standar Telekomunikasi, India (TSDSI), Asosiasi Teknologi Telekomunikasi (TTA) Korea, Komite Teknologi Telekomunikasi (TTC) Jepang.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

kecil diharapkan membawa sebagian besar lalu lintas dengan volume data keseluruhan diharapkan tumbuh secara eksponensial seperti yang diprediksi oleh banyak penelitian. Membawa sel kecil lebih dekat ke pengguna akan mengurangi latensi dan meningkatkan efisiensi jaringan secara keseluruhan dengan membuat subjaringan. Subnetwork ini dapat memiliki fungsi untuk merutekan lalu lintas data secara lokal untuk panggilan pengguna lokal yang berkomunikasi satu sama lain saat mengirim sinyal ke jaringan utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.5^[14]. Hasil bersih dari peralihan lokal adalah penghematan sumber daya jaringan dan paket data yang lebih murah bagi pelanggan.



Gambar 8.5 Rute Lokal

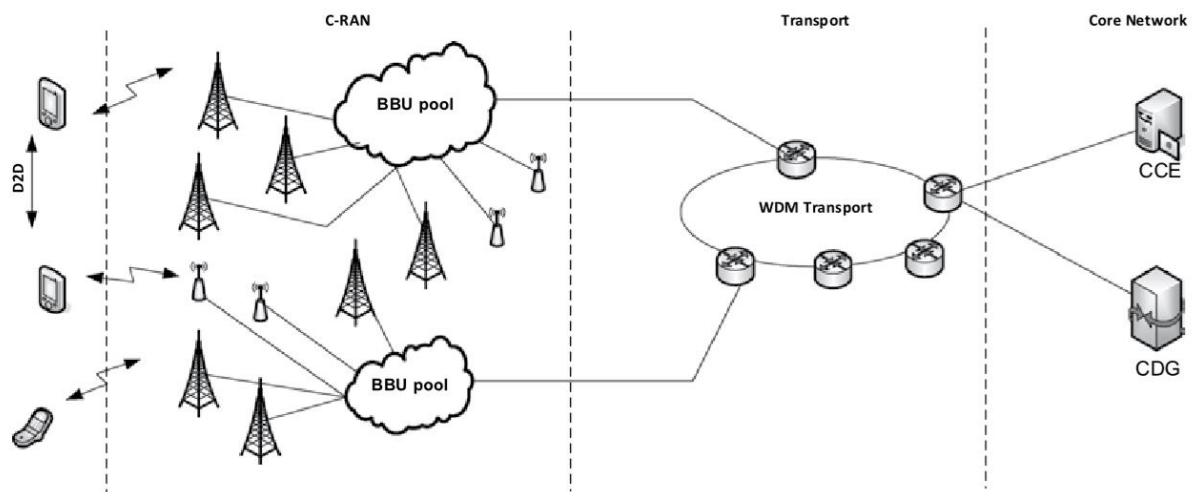
C-RAN, yang telah dibahas pada Bab 5, akan membawa fungsionalitas cloud dan kemungkinan kemampuan kognitif ke RAN. Dalam RAN fleksibel seperti itu, RRU tidak perlu menempel pada BBU tertentu, tetapi sebaliknya mereka dapat berbicara dengan salah satu BBU dari kumpulan tertentu. Fungsionalitas cloud mungkin tidak akan ada di jaringan transmisi termasuk backhaul dan akan terus bergantung pada sistem berbasis serat dan gelombang radio. Selain itu, DSL dapat melanjutkan untuk konektivitas dengan sel kecil dalam ruangan. Jaringan 5G diharapkan dapat mengintegrasikan NFV dan SDN bersama dengan bidang pengguna dan kontrol yang terpisah. Namun demikian, setidaknya untuk saat ini, empat area jaringan seluler, yaitu akses radio, transportasi, jaringan inti, dan operasi, akan tetap eksis dalam arsitektur 5G seperti terlihat pada Gambar 8.6.

Tantangan utama untuk jaringan akses radio 5G adalah persyaratan untuk integrasi yang efisien dari lapisan tambahan sel kecil dengan jaringan sel makro yang ada^[11]. Peningkatan teknologi yang berkelanjutan dan pertumbuhan jumlah sel makro akan semakin menambah tantangan ini.

Dalam kasus 5G, sel kecil digunakan sebagai RRU ringan bersama dengan RRU makro. RRU ringan dapat dipasang di tiang lampu jalan dan kereta bawah tanah sedangkan RRU makro cocok untuk menara BTS tradisional. Kedua jenis RRU akan terhubung ke kumpulan BBU melalui antarmuka fronthaul. Fronthaul adalah area baru dalam jaringan transportasi yang menghubungkan kepala radio ke kumpulan terpusat BBU melalui serat. Pilihan saat ini untuk antarmuka fronthaul adalah CPRI, ORI (Open Radio equipment Interface) atau OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative). Namun, ini mungkin mengalami hambatan kapasitas dan

dengan demikian mengharuskan para pemain untuk mencari alternatif. Kumpulan BBU terhubung ke jaringan inti melalui kombinasi teknologi kabel dan nirkabel. Ini termasuk tautan tetap seperti serat khusus, bersama dengan opsi nirkabel seperti radio gelombang mikro dan radio melalui serat. Jaringan inti akan terhubung ke Internet dan untuk menghubungkan kota metropolitan yang berbeda, konektivitas WDM (wave division multiplexing) jarak jauh yang ada dapat ditingkatkan.

Jaringan inti dapat dibagi menjadi domain kontrol dan bidang pengguna di mana entitas kontrol gabungan (CCE) mengintegrasikan fungsi kontrol jaringan inti 5G dengan fungsi inti MME, SGW-C, dan PGW-C. Demikian pula, gateway data gabungan (CDG) melakukan fungsi penerusan data jaringan inti 5G, SGW-D, dan PGW-D.



Gambar 8.6 Arsitektur jaringan 5G tingkat tinggi

8.7 Rancangan Jaringan 5G (In-Depth View)

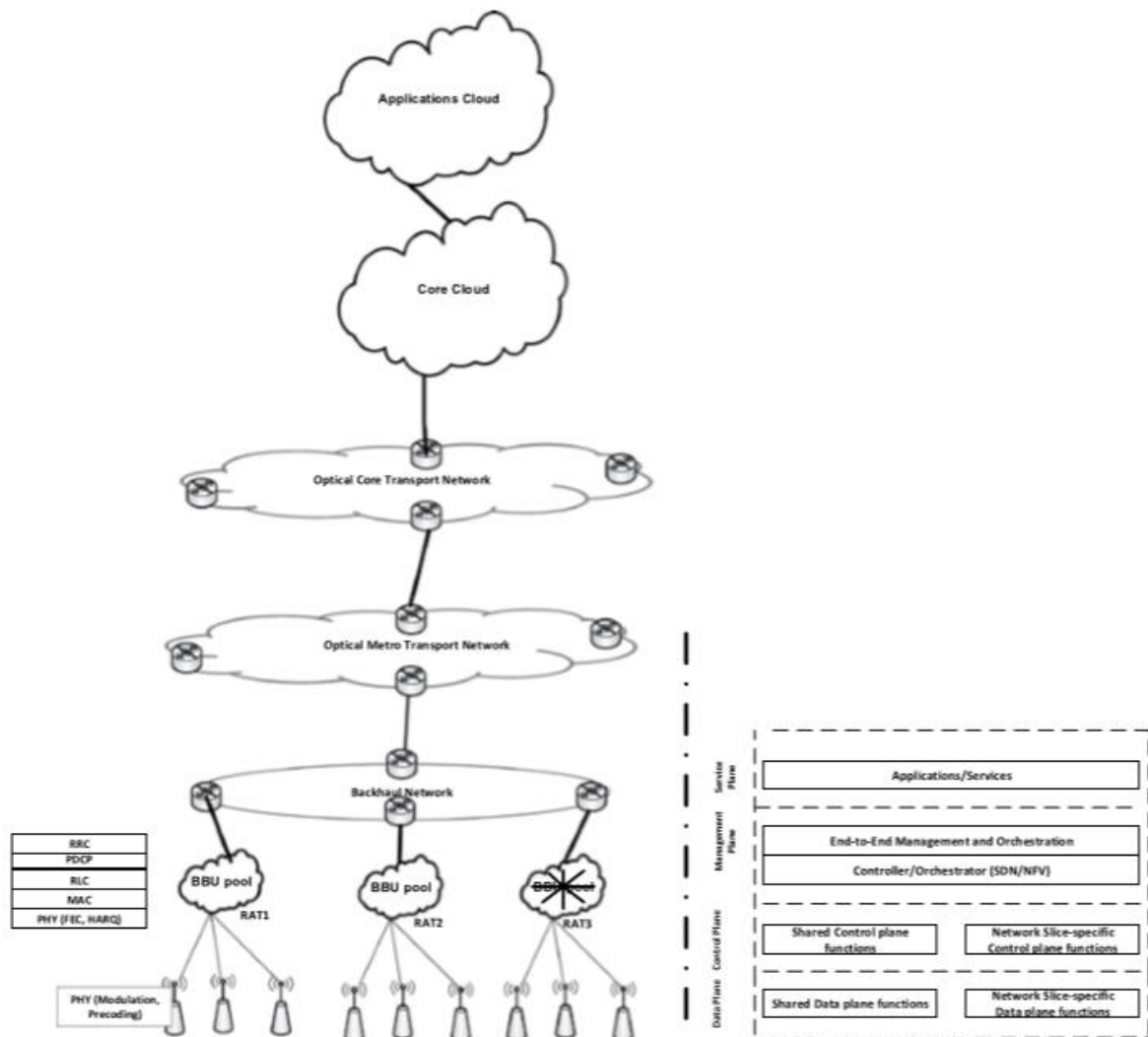
Jaringan seluler 5G akan mencakup fungsi fisik dan virtual serta penerapan cloud. Jelas juga bahwa 5G perlu memperhitungkan penyebaran jaringan 3G/LTE/LTE-Advanced yang ada. Pandangan mendalam tentang arsitektur jaringan 5G ditunjukkan pada Gambar 8.7.

Pada tingkat tinggi, dua opsi telah dibayangkan untuk RAT. Salah satu kemungkinan yang sulit adalah memiliki satu RAT terpadu yang dioptimalkan untuk frekuensi yang berbeda, berbagai kasus penggunaan (IoT, V2X [vehicle-to-everything], dll.) dan berbagai layanan. Merancang RAT seperti itu sangat menantang dan mahal, membutuhkan refarming^[9] dari spektrum yang ada yang digunakan untuk warisan teknologi LTE dan LTE-Advanced. Pembaruan spektrum mungkin tidak ideal dalam banyak kasus, sehingga pendekatan yang lebih baik mungkin adalah agregasi operator 5G dengan operator LTE/LTE-Advanced selama periode awal peluncuran 5G. Bergantian, beberapa RAT dapat saling melengkapi di mana satu menggunakan pita frekuensi tinggi dapat memberikan kapasitas dan kecepatan data yang tinggi di daerah perkotaan yang padat, sedangkan RAT lain yang beroperasi di pita frekuensi yang lebih rendah dapat digunakan untuk IoT dan di daerah pedesaan untuk cakupan yang lebih luas.

Jaringan transportasi harus fleksibel dan dinamis untuk memenuhi kebutuhan jaringan masa depan. Fronthaul, backhaul, metro, jarak jauh, dan konektivitas Internasional harus diasuransikan oleh jaringan transportasi. Sebagian besar konektivitas akan disediakan melalui kabel serat optik, tetapi beberapa akan memerlukan sistem berbasis gelombang radio.

3GPP membayangkan pemisahan logis antara RAN dan jaringan inti untuk memungkinkan evolusi independen dari keduanya. Selanjutnya, pemisahan kontrol dan pesawat pengguna diramalkan untuk jaringan 5G. Dalam RAN, misalnya, akan memungkinkan sel makro untuk menangani bidang kontrol sementara sel kecil (terutama dalam konteks gelombang milimeter) menangani bidang pengguna. Namun, sifat pasti dari perpecahan semacam itu masih dalam penyelidikan.

Pemisahan tipikal bisa antara lapisan fisik dan MAC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.7 di mana fronthaul terutama didukung oleh serat. Dalam opsi ini, RRU mendukung fungsi modulasi dan precoding dari lapisan fisik, sementara BBU akan mendukung fungsi MAC, RLC, PDCP dan RRC, dan FEC dan HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) dari lapisan fisik. Ini adalah pendekatan terpusat tanpa memerlukan dukungan bandwidth tinggi di fronthaul.



Gambar 8.7 Arsitektur jaringan 5G (in depth-view).

NFV dan SDN sangat penting dalam jaringan 5G untuk mengurangi biaya dan memberikan nilai tambah pada infrastruktur jaringan. NFV adalah proses memindahkan/meneruskan tugas seperti load balancing, firewall, dan sebagainya dari perangkat keras khusus ke lingkungan virtual^[15]. NFV memungkinkan pelaksanaan fungsi jaringan berbasis perangkat lunak pada perangkat keras tujuan umum dengan memanfaatkan teknik virtualisasi. Teknologi virtualisasi memungkinkan pemisahan perangkat lunak fungsi jaringan dari perangkat keras khusus^[16].

Softwareisasi memungkinkan implementasi fungsi jaringan dalam perangkat lunak, termasuk virtualisasi fungsi tersebut dan kemampuan program dengan mengatur antarmuka yang sesuai. Ini adalah pendekatan untuk menggunakan pemrograman perangkat lunak untuk merancang, mengimplementasikan, dan memelihara peralatan dan layanan jaringan. Di SDN, bidang kontrol dipisahkan dari bidang data dan dikelola oleh pengontrol terpusat secara logis yang memiliki pandangan holistik jaringan^[11]. Software dalam RAN memungkinkan beberapa fungsi seperti PDCP dan RRC diimplementasikan sebagai VNF. Perangkat lunak juga dapat digunakan untuk mengimplementasikan fungsi inti dan transportasi tertentu. Tujuan awal menggabungkan NFV dan SDN adalah untuk memisahkan layanan dari sumber daya fisik yang memungkinkan fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi dalam jaringan. Ketika NFV dan SDN bersatu, mereka memberikan manfaat tambahan untuk melepaskan manajemen siklus hidup dari kendala fisik^[16].

Irisan jaringan, seperti yang dibahas dalam Bab 5, mendukung konektivitas kasus penggunaan tertentu melalui kumpulan fungsi jaringan 5G, dan konfigurasi spesifik dalam RAN, transport, dan jaringan inti. Fungsi jaringan menyediakan konektivitas, penyimpanan, dan komputasi. Detail tentang fungsi jaringan dapat ditemukan di^[11]. Akhirnya, 5G tidak hanya tentang konektivitas, tetapi juga menuntut komputasi dan penyimpanan kelas atas. Persyaratan komputasi dan penyimpanan juga bervariasi di antara area dan elemen jaringan yang berbeda. Misalnya, kumpulan BBU mungkin memiliki kebutuhan yang kurang ketat dibandingkan dengan gateway paket jaringan inti. Demikian pula, jaringan transportasi mencakup beberapa node agregasi yang perlu menawarkan kemampuan komputasi dan penyimpanan.

8.7.1 Arsitektur Sistem Keseluruhan

Sejalan dengan pekerjaan pada teknologi akses radio NR (New Radio) di 3GPP, arsitektur sistem keseluruhan dari Radio-Access Network (RAN) dan Core Network (CN) ditinjau kembali, termasuk pemisahan fungsi antara dua jaringan.

RAN bertanggung jawab atas semua fungsi yang berhubungan dengan radio dari keseluruhan jaringan termasuk, misalnya, penjadwalan, penanganan sumber daya radio, protokol transmisi ulang, pengkodean, dan berbagai skema multi-antena. Fungsi-fungsi ini akan dibahas secara rinci dalam bab-bab berikutnya.

Jaringan inti 5G bertanggung jawab atas fungsi yang tidak terkait dengan akses radio tetapi diperlukan untuk menyediakan jaringan yang lengkap. Ini termasuk, misalnya, otentikasi, fungsionalitas pengisian daya, dan pengaturan koneksi ujung ke ujung. Menangani fungsi-fungsi ini secara terpisah, alih-alih mengintegrasikannya ke dalam RAN, bermanfaat karena memungkinkan beberapa teknologi akses radio dilayani oleh jaringan inti yang sama.

Namun, dimungkinkan untuk menghubungkan jaringan akses radio NR juga ke jaringan inti LTE (Long-Term Evolution) lama yang dikenal sebagai Evolved Packet Core (EPC). Faktanya, ini adalah kasus ketika mengoperasikan NR dalam mode non-standalone, di mana LTE dan EPC menangani fungsionalitas seperti pengaturan koneksi dan paging. Rilis selanjutnya akan memperkenalkan operasi mandiri dengan koneksi NR ke inti 5G, serta koneksi LTE ke inti 5G. Dengan demikian, skema akses radio LTE dan NR dan jaringan inti terkait erat, tidak seperti transisi dari 3G ke 4G di mana teknologi akses radio 4G LTE tidak dapat terhubung ke jaringan inti 3G.

Meskipun buku ini berfokus pada akses radio NR, gambaran singkat tentang jaringan inti 5G, serta cara terhubung ke RAN, berguna sebagai latar belakang.

8.7.2 Jaringan Inti 5G

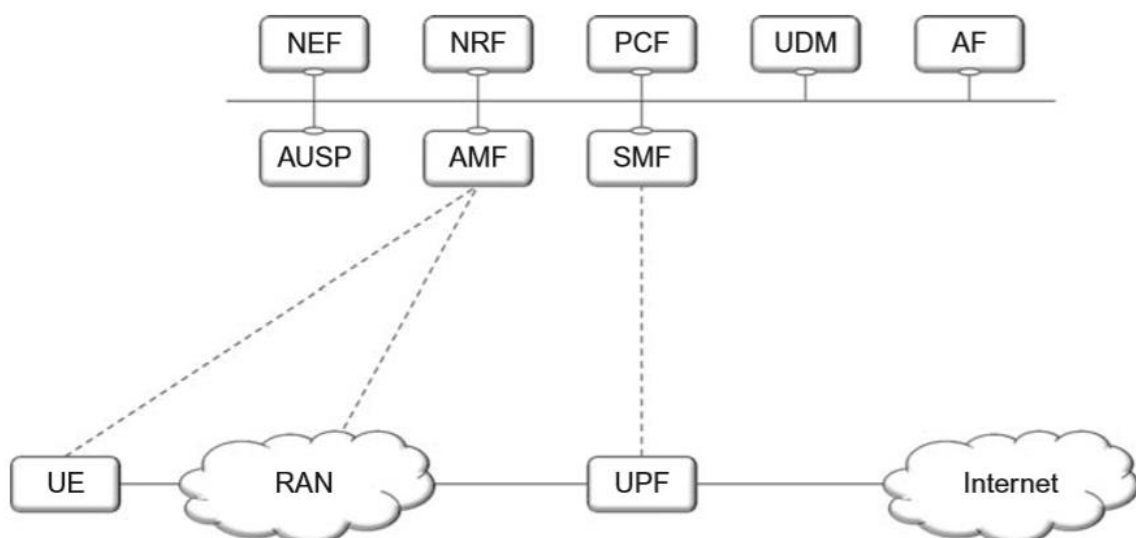
Jaringan inti 5G dibangun di atas EPC dengan tiga area peningkatan baru dibandingkan dengan EPC: arsitektur berbasis layanan, dukungan untuk pemisahan jaringan, dan pemisahan bidang kontrol/bidang pengguna.

Arsitektur berbasis layanan adalah dasar untuk inti 5G. Ini berarti bahwa spesifikasi berfokus pada layanan dan fungsionalitas yang disediakan oleh jaringan inti, bukan node seperti itu. Ini wajar karena jaringan inti saat ini sudah sering sangat tertvirtualisasi dengan fungsionalitas jaringan inti yang berjalan pada perangkat keras komputer umum.

Pengirisan jaringan adalah istilah yang biasa terlihat dalam konteks 5G. Sepotong jaringan adalah jaringan logis yang melayani kebutuhan bisnis atau pelanggan tertentu dan terdiri dari fungsi-fungsi yang diperlukan dari arsitektur berbasis layanan yang dikonfigurasi bersama. Misalnya, satu irisan jaringan dapat diatur untuk mendukung aplikasi broadband seluler dengan dukungan mobilitas penuh, serupa dengan yang disediakan oleh LTE, dan irisan lainnya dapat diatur untuk mendukung aplikasi otomatisasi industri non-seluler yang kritis terhadap latensi. Potongan-potongan ini semua akan berjalan pada inti fisik dan jaringan radio yang sama, tetapi, dari perspektif aplikasi pengguna akhir, mereka muncul sebagai jaringan independen. Dalam banyak aspek ini mirip dengan mengkonfigurasi beberapa komputer virtual pada komputer fisik yang sama. Komputasi tepi, di mana bagian dari aplikasi pengguna akhir berjalan dekat dengan tepi jaringan inti untuk memberikan latensi rendah, juga dapat menjadi bagian dari potongan jaringan tersebut.

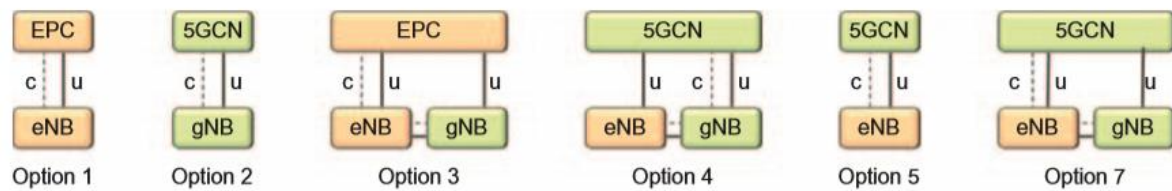
Perpecahan bidang kontrol/bidang pengguna ditekankan dalam arsitektur jaringan inti 5G, termasuk penskalaan independen dari kapasitas keduanya. Misalnya, jika diperlukan lebih banyak kapasitas bidang kontrol, harus langsung ditambahkan tanpa memengaruhi bidang pengguna jaringan.

Pada tingkat tinggi, inti 5G dapat diilustrasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.8a. Gambar tersebut menggunakan representasi berbasis layanan, di mana layanan dan fungsionalitas menjadi fokus. Dalam spesifikasi ada juga alternatif, deskripsi titik referensi, yang berfokus pada interaksi titik ke titik antara fungsi, tetapi deskripsi itu tidak ditangkap dalam gambar.



Gambar 8.8a Arsitektur jaringan inti tingkat tinggi (deskripsi berbasis layanan).

Fungsi user-plane terdiri dari User Plane Function (UPF) yang merupakan gateway antara RAN dan jaringan eksternal seperti Internet. Tanggung jawabnya meliputi perutean dan penerusan paket, inspeksi paket, penanganan kualitas layanan dan penyaringan paket, dan pengukuran lalu lintas. Ini juga berfungsi sebagai titik jangkar untuk mobilitas (antar-RAT) bila diperlukan.



Gambar 8.8b Kombinasi berbeda dari jaringan inti dan teknologi akses radio.

Fungsi bidang kendali terdiri dari beberapa bagian. Fungsi Manajemen Sesi (SMF) menangani, antara lain, alokasi alamat IP untuk perangkat (juga dikenal sebagai Peralatan Pengguna, UE), kontrol penegakan kebijakan, dan fungsi manajemen sesi umum. Fungsi Manajemen Akses dan Mobilitas (AMF) bertanggung jawab atas pensinyalan kontrol antara jaringan inti dan perangkat, keamanan untuk data pengguna, mobilitas keadaan tidak aktif, dan otentikasi. Fungsionalitas yang beroperasi antara jaringan inti, lebih khusus lagi AMF, dan perangkat terkadang disebut sebagai Non-Access Stratum (NAS), untuk memisahkannya dari Access Stratum (AS), yang menangani fungsionalitas yang beroperasi antara perangkat dan jaringan akses radio.

Selain itu, jaringan inti juga dapat menangani jenis fungsi lain, misalnya, Fungsi Kontrol Kebijakan (PCF) yang bertanggung jawab atas aturan kebijakan, Manajemen Data Terpadu (UDM) yang bertanggung jawab atas kredensial otentikasi dan otorisasi akses, Fungsi Eksposur Jaringan (NEF), NR Repository Function (RNF), fungsi otentikasi penyerahan Authentication Server Function (AUSF), dan Application Function (AF). Fungsi-fungsi ini tidak dibahas lebih lanjut dalam buku ini dan pembaca dirujuk ke ^[13] untuk perincian lebih lanjut.

Perlu dicatat bahwa fungsi jaringan inti dapat diimplementasikan dalam banyak cara. Misalnya, semua fungsi dapat diimplementasikan dalam satu node fisik, didistribusikan di beberapa node, atau dieksekusi pada platform cloud.

Uraian di atas berfokus pada jaringan inti 5G baru, yang dikembangkan secara paralel dengan akses radio NR dan mampu menangani akses radio NR dan LTE. Namun, untuk memungkinkan pengenalan awal NR di jaringan yang ada, dimungkinkan juga untuk menghubungkan NR ke EPC, jaringan inti LTE. Ini diilustrasikan sebagai "opsi 3" pada Gambar. 8.8b dan juga dikenal sebagai "operasi non-standalone" karena LTE digunakan untuk fungsionalitas bidang kontrol seperti akses awal, paging, dan mobilitas. Node yang dilambangkan eNB dan gNB akan dibahas lebih rinci di bagian berikutnya; untuk saat ini eNB dan gNB dapat dianggap sebagai BTS masing-masing untuk LTE dan NR.

Pada opsi 3, jaringan inti EPC terhubung ke eNB. Semua fungsi bidang kontrol ditangani oleh LTE, dan NR hanya digunakan untuk data bidang pengguna. GNB terhubung ke eNB dan data bidang pengguna dari EPC dapat diteruskan dari eNB ke gNB. Ada juga varian ini: opsi 3a dan opsi 3x. Pada opsi 3a, bagian bidang pengguna dari eNB dan gNB terhubung langsung ke EPC. Pada opsi 3x, hanya bidang pengguna gNB yang terhubung ke EPC dan data bidang pengguna ke eNB yang dirutekan melalui gNB.

Untuk operasi mandiri, gNB terhubung langsung ke inti 5G seperti yang ditunjukkan pada opsi 2. Fungsi bidang pengguna dan bidang kontrol ditangani oleh gNB. Opsi 4, 5, dan 7 menunjukkan berbagai kemungkinan untuk menghubungkan eNB LTE ke 5GCN.

8.8 Manajemen Mobilitas

Manajemen Mobilitas (MM) mencakup banyak hal dan telah dibahas secara mendalam oleh industri telekomunikasi nirkabel pada umumnya. MM adalah salah satu fungsi utama sistem seluler yang memungkinkan telepon seluler bekerja di jaringan yang homogen dan heterogen. Tujuan MM adalah untuk melacak di mana pelanggan berada, memungkinkan panggilan, pesan, data, dan layanan ponsel lainnya dikirimkan kepada mereka di mana saja, kapan saja.

Di jaringan seluler, lokasi perangkat dilacak sehingga informasi dapat ditransfer secara efisien. Biasanya, prosedur MM mencakup pembaruan lokasi dan paging. Saat perangkat berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain, prosedur pembaruan lokasi digunakan oleh perangkat untuk melaporkan ke jaringan tentang posisi barunya. Demikian pula ketika ada data/informasi yang masuk untuk perangkat, jaringan menggunakan proses paging untuk mengidentifikasi lokasi perangkat^[17]. MM biasanya mencakup mobilitas pribadi, mobilitas sesi, dan mobilitas jaringan dan terminal^[1,3]:

- Mobilitas Pribadi mendefinisikan kemampuan pengguna untuk mengakses layanan pribadinya (misalnya, bookmark, kalender, dll.) saat jauh dari jaringan asal.
- Mobilitas Sesi adalah tentang menjaga kelancaran dalam sesi saat berpindah dari satu jaringan ke jaringan lain (misalnya, perpindahan dari LTE ke LTE-Advanced, EV-DO ke EPS, LTEAdvanced ke 5G, dll.) dan juga dalam jaringan yang sama.
- Mobilitas Jaringan dan Terminal mendefinisikan kemampuan jaringan dan terminal untuk mendukung roaming. Mobilitas terminal memungkinkan ponsel untuk mengakses layanan dari lokasi yang berbeda, sedangkan jaringan harus memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi dan menemukan ponsel tersebut.

Merancang MM untuk semua jaringan IP membawa sejumlah tantangan dalam konteks jaringan, perangkat, dan protokol itu sendiri (IPv4, IPv6). Prosedur yang terkait dengan manajemen mobilitas jaringan dan perangkat terutama ditentukan oleh organisasi pengembangan standar 3GPP, 3GPP2, dan OMA. IETF, di sisi lain, memperkenalkan mobilitas sebagai fitur bawaan pada generasi berikutnya, IPv6, untuk mengatasi kekurangan IPv4, seperti kekurangan alamat IP.

8.9 Manajemen Mobilitas EPS

Teknologi berbasis 3GPP seperti jaringan GSM, UMTS, dan LTE menggunakan GPRS Tunneling Protocol (GTP) untuk MM. Semua sesi paket diangkut atau dipindahkan melalui terowongan GPRS dengan prosedur MM GPRS sesuai dengan konteks Protokol Data Paket³⁷ [18]. Fungsionalitas MM dioptimalkan untuk mendukung arsitektur jaringan circuit-sw ITC hed dan packet-sw ITC hed. Namun, karena signaling overhead yang tinggi, proses tersebut tidak efisien untuk layanan packet-sw ITC he^[20]. Untuk mengatasi tantangan ini, 3GPP telah memperkenalkan protokol PMIP (Proxy Mobile IP),^[21] yang distandarisasi oleh IETF, dan sangat efektif dalam mengurangi biaya pensinyalan MM untuk berbagai opsi arsitektur [20]. Titik referensi S5 dan S8 dalam arsitektur EPC telah didefinisikan memiliki varian GTP dan PMIP.

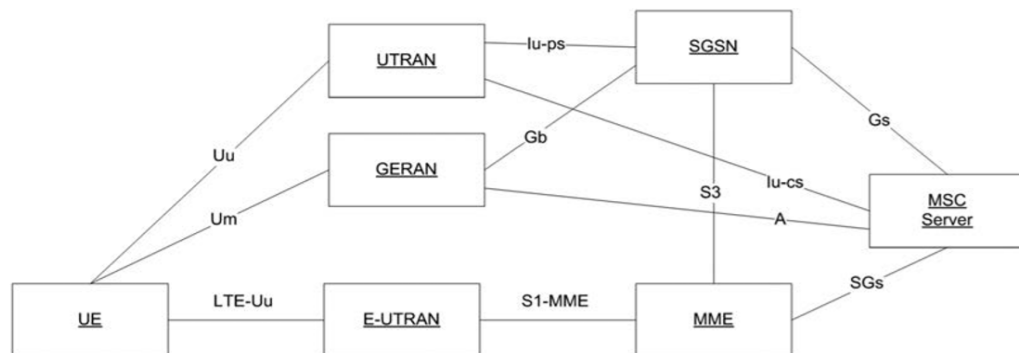
³⁷ Konteks PDP adalah struktur data yang ada pada SGSN dan GGSN yang berisi informasi sesi pelanggan (alamat IP), IMSI (identitas pelanggan seluler inteNRasional), dll. ketika pelanggan memiliki sesi aktif^[19].
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

Varian GTP didokumentasikan dalam TS 23.401^[22] sedangkan varian PMIP didokumentasikan dalam TS 23.402^[21].

MME bertanggung jawab atas fungsi MM di EPS. EPS Mobility Management (EMM) dan EPS Connection Management (ECM) didefinisikan oleh 3GPP di^[23]. EMM menjelaskan status MM (Dibatalkan Registrasi EMM dan Terdaftar EMM) yang dihasilkan dari prosedur seperti Lampirkan dan Pembaruan Area Pelacakan. ECM menggambarkan konektivitas pensinyalan antara UE dan EPC dan terdiri dari dua status, yaitu ECM-IDLE dan ECM-CONNECTED. Biasanya, status ECM dan EMM independen satu sama lain; namun, beberapa mekanisme memang membutuhkan interaksi dari keempat keadaan ini. Misalnya, untuk transisi dari EMM-DREGISTERED ke EMM-REGISTERED, UE harus dalam keadaan ECM-CONNECTED.

8.10 Manajemen Suara pada LTE

LTE adalah teknologi data dan tidak memiliki apa yang diperlukan untuk mendukung circuit sw ITC hed voice dan VoIP. Untuk menjawab tantangan ini, 3GPP mengidentifikasi dua teknik untuk mendukung suara, yaitu CS.



Gambar 8.8 Arsitektur EPS untuk CSFB dan SMS melalui SG. (Dari 3GPP TS 23.272 (V 12.1.0) 2013 CSFB dalam Evolved Packet System (EPS); Tahap 2. Spesifikasi Teknis (Rilis 12), Grup Spesifikasi Teknis Aspek Layanan dan Sistem, 3GPP, Desember^[24].)

8.10.1 CSFB

Circuit Sw ITC hed Fallback (CSFB) diperkenalkan di Rel-8 dengan membuat antarmuka pensinyalan SG antara server MSC 2G/3G dan elemen jaringan LTE MME (Gambar 8.8). Ini memungkinkan perangkat yang terhubung ke jaringan LTE packet-sw ITC hed untuk beralih ke jaringan circuit-sw ITC hed (misalnya, WCDMA) untuk panggilan suara masuk dan keluar. Selama fallback ini, sesi data yang sedang berlangsung di LTE juga beralih ke jaringan 3G/HSPA, dan ketika panggilan suara berakhir, handset kembali ke LTE^[26-28].

CSFB dapat diimplementasikan di setiap Mobile Sw ITC hing Center Server (MSS) atau di MSS khusus (dikenal sebagai CSFB overlay). Kekurangan CSFB adalah membutuhkan handset dengan kemampuan dual-mode/single-standby atau dual-mode/dual-standby. Handset dual-mode menguras daya baterai dengan cepat dan memerlukan konfigurasi terminal yang rumit^[29].

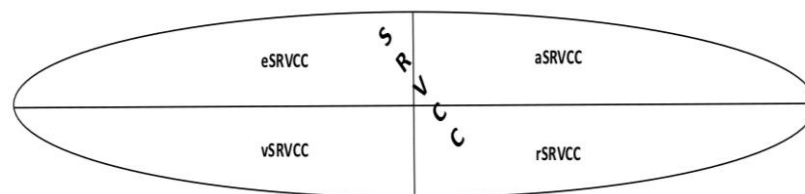
CSFB tidak berdampak pada SMS atau data packet-sw ITC hed, yang ditangani secara paralel dengan suara di jaringan 2G/3G. CSFB tidak menyebabkan gangguan dalam sesi data saat pelanggan melakukan panggilan suara. Sambungan data kembali ke jaringan LTE dengan mulus saat panggilan suara selesai^[30].

8.10.2 SRVCC

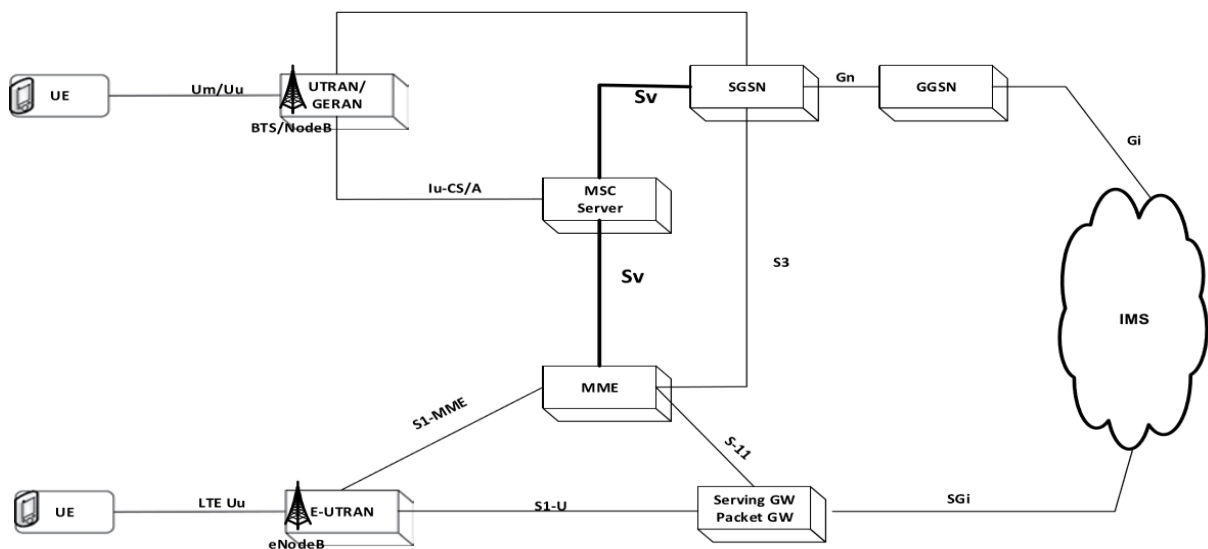
SRVCC atau VoIP over LTE (atau VoLTE) adalah solusi telepon suara yang terdiri dari IP Multimedia Subsystem (IMS). Ini memungkinkan panggilan VoIP/IMS dalam domain packet-sw ITC hed LTE untuk ditransfer ke domain circuit-sw ITC hed lama (GSM/UMTS atau CDMA2000). Teknik ini menggunakan solusi radio tunggal³⁸ di perangkat pengguna, dengan keunggulan biaya, ukuran, dan efisiensi baterai dibandingkan solusi radio ganda, memungkinkan panggilan dari area cakupan LTE ke non-LTE.

Seiring dengan IMS, VoLTE juga terdiri dari layanan Multimedia telephony (MMTel³⁹) seperti yang didefinisikan oleh GSMA^[31]. Berdasarkan IMS/MMTel, layanan suara dapat lebih diperkaya dengan video^[32] dan dikombinasikan dengan beberapa layanan berbasis IP yang disempurnakan lainnya seperti suara definisi tinggi, kehadiran, lokasi, dan penambahan Rich Communication Suite (RCS) seperti pesan instan, video berbagi, dan buku telepon yang disempurnakan/dibagikan.

VoLTE, di bawah payung SRVCC, distandarisasi dalam 3GPP Rel-8 untuk meningkatkan jangkauan suara dengan menyerahkan sesi suara dari LTE ke domain circuit-sw ITC hed 2G/3G. Domain CS dapat menjadi bagian dari UTRAN/GERAN atau 3GPP2 1xCS (CDMA2000 1X). Di Rel-9, untuk mendukung layanan e911 melalui VoLTE, fitur seperti layanan darurat, layanan lokasi, dan layanan siaran peringatan darurat diperkenalkan.



Gambar 8.9 Forms SRVCC



Gambar 8.10 Arsitektur jaringan SRVCC 3 GPP R10

³⁸ Terminal mode radio tunggal mengacu pada kemampuan terminal untuk mengirim atau menerima hanya pada salah satu jaringan akses radio yang diberikan pada waktu tertentu.

³⁹ Multimedia Telephony (MMTel) adalah standar global berdasarkan IMS dan dikembangkan bersama oleh 3rd Generation Partnership Project, (3GPP), European Telecommunications Standards Institute/Telecoms dan InteNRet Converged Services and Protocols for Advanced Networks (ETSI/TISPAN) standardisasi tubuh. Ini menawarkan komunikasi multimedia real-time terkonvergensi, tetap, dan seluler yang memungkinkan pengguna berkomunikasi menggunakan suara, video, dan obrolan.

Dalam Rel-10, peningkatan arsitektur untuk SRVCC (disebut eSRVCC) diperkenalkan yang mendukung fitur panggilan tengah (sesi atau sesi tidak aktif menggunakan layanan konferensi) selama serah terima SRVCC yang pada akhirnya meningkatkan kinerja serah terima. Rel-10 juga mendukung transfer panggilan dalam fase peringatan (aSRVCC). Di Rel-11, fitur SRVCC lebih ditingkatkan dengan penyerahan prioritas (aspek eMPS⁴⁰ dari SRVCC), SRVCC dari 2G/3G CS ke LTE/HSPA (rSRVCC), dan SRVCC video dari LTE ke UMTS (vSRVCC)^[26]. Empat bentuk SRVCC ditunjukkan pada Gambar 8.9^[33-35].

Arsitektur SRVCC sebagaimana didefinisikan dalam Rel-10 ditunjukkan pada Gambar 8.10. Untuk mendukung fungsi ini, antarmuka baru yang disebut Sv diperkenalkan antara MME dan server MSC untuk LTE-UTRAN/GERAN, dan antara SGSN dan server MSC untuk sesi HSPA-GERAN. Antarmuka lain S102 (tidak ditampilkan) diperkenalkan antara MME dan IWS (Sistem Interworking) untuk SRVCC dari E-UTRAN ke CDMA 2000 1xRTT.

Proses serah terima SRVCC melibatkan langkah serah terima IRAT (Inter Radio Access Technology) dan transfer sesi. Langkah-langkah ini harus memenuhi target gangguan suara 3GPP kurang dari 0,3 detik seperti yang didefinisikan dalam TS 22.278^[30]. Konfigurasi Rel-10 memungkinkan pensinyalan untuk mengikuti jalur sesingkat mungkin, meminimalkan waktu interupsi suara yang disebabkan oleh peralihan dari inti PS ke inti CS, baik perangkat pengguna berada di jaringan rumah atau roaming. Konfigurasi Rel-10 meminimalkan waktu gangguan suara dengan menginisiasi kedua prosedur secara bersamaan sehingga dapat berjalan secara paralel^[23].

SRVCC membutuhkan fungsionalitas tambahan baik di sistem sumber (LTE) dan sistem target (warisan). Fungsionalitas SRVCC diaktifkan melalui peningkatan perangkat lunak ke inti CS (MSC Server), subsistem IMS, E-UTRAN, dan EPC (MME). Di sisi lain, tidak ada peningkatan yang diperlukan untuk akses radio target GSM/WCDMA RAN yang lama.

8.10.3 CSFB versus SRVCC

CSFB adalah solusi jangka pendek dan SRVCC adalah solusi jangka panjang. Beberapa perbedaan utama antara kedua teknik ditunjukkan pada Tabel 8.1.

Atribut	CSFB	SRVCC
Penahan IMSMS	Tidak dibutuhkan	Wajib
Kemampuan perangkat	Dual Mode Sirkuit yang lebih kompleks	Mode Tunggal Sirkuit yang kurang kompleks
Biaya (perspektif jaringan)	Kurang	Lebih karena persyaratan IMS
Waktu pengaturan panggilan suara	Lebih tinggi	Kurang
Beralih ke domain CS	Untuk setiap panggilan awal dan akhir seluler yang meningkatkan beban pensinyalan	Hanya ketika terminal menjelajah keluar dari area cakupan LTE menghasilkan beban sinyal yang lebih sedikit

⁴⁰ Penyempurnaan untuk Layanan Prioritas Multimedia (eMPS) adalah fitur di Rel-10 untuk sesi IMS dan sesi pembawa EPS.

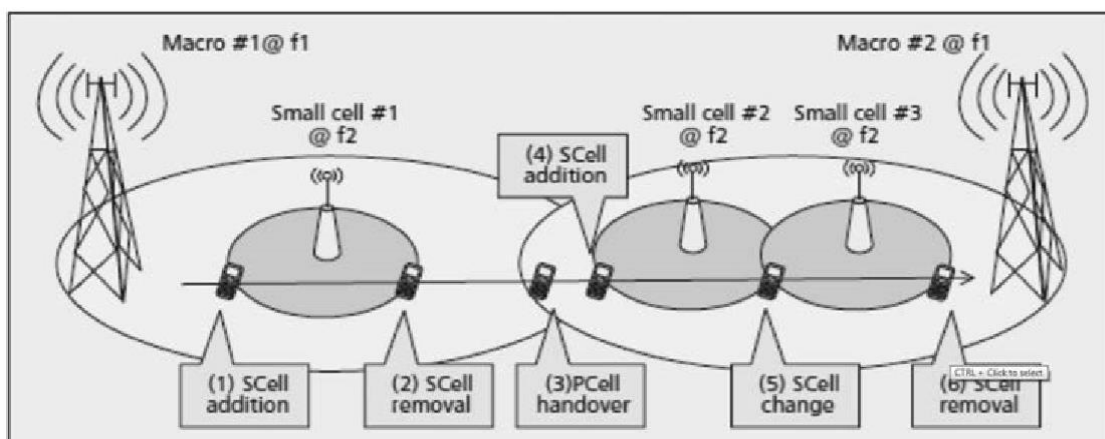
8.11 Manajemen Mobilitas dalam HetNets (Sebuah Contoh)

HetNet adalah jaringan komunikasi seluler yang terdiri dari kombinasi berbagai jenis sel (seperti makro, sel femto, dll.) dan teknologi akses yang berbeda (seperti HSPA, LTE, dll.). Dalam HetNets seperti itu, MM menjadi lebih rumit dibandingkan dengan jaringan homogen.

Pertimbangkan kasus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.11^[36] di mana diasumsikan bahwa makro ditempatkan di pembawa f_1 , sementara sel-sel kecil ditempatkan pada pembawa terpisah f_2 menggunakan teknik agregasi pembawa. Perangkat terhubung RRC diasumsikan memiliki koneksi downlink dari lapisan makro yang berarti bahwa sel makro adalah sel utama mereka (PCell). Perangkat yang berada di sekitar sel kecil dapat memiliki sel tertentu yang dikonfigurasi sebagai sel sekundernya (SCell) dan dengan demikian mendapat manfaat dari agregasi operator antar situs untuk mencapai kecepatan data yang lebih tinggi karena bandwidth yang dapat diakses lebih tinggi bagi pengguna.

Jadi, saat perangkat/UE bergerak di bawah sel mikro yang sama, perangkat akan selalu memiliki koneksi PCell yang stabil saat menambahkan, menghapus, atau mengubah SCell pada lapisan sel kecil di f_2 . Makro dan sel kecil diasumsikan saling berhubungan, baik melalui antarmuka X2 atau serat menggunakan protokol lain. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.11, ketika UE memasuki area cakupan sel kecil #1 pada posisi (1), ia akan menambahkan sel ini sebagai SCell, dan ketika meninggalkan cakupan sel kecil pada posisi (2), koneksi SCell dihapus. Pada posisi (3), UE akan dikenakan serah terima PCell dari makro #1 ke makro #2. Perubahan SCell dari sel kecil #2 ke sel kecil #3 terjadi pada posisi (5) dengan makro #2 sebagai PCell-nya. Serah terima dalam jaringan nirkabel heterogen disebut sebagai handoff vertikal yang dapat berupa seluler atau dikendalikan jaringan.

Sesuai standar 4G LTE-Advanced, jaringan harus mengirim pesan RRC baru ke perangkat/UE setiap kali menambahkan, menghapus, atau mengubah SCell. Tindakan jaringan tersebut dipicu oleh laporan pengukuran dari perangkat/UE (dikirim melalui pensinyalan RRC uplink). Untuk skenario dengan banyak sel kecil, pensinyalan RRC dari operasi SCell dapat menjadi signifikan dibandingkan dengan mengelola mobilitas PCell. Kedua, seringkali perangkat/UE dibantu dan manajemen SCell yang dikendalikan jaringan merupakan beban tambahan (dan penundaan pensinyalan) pada jaringan karena perangkat nonstasioner/perangkat UE cenderung tunduk pada kemunculan dan hilangnya sel kecil yang relatif sering bergerak di sepanjang lintasan tertentu.



Gambar 8.11 Prinsip dasar mobilitas untuk skenario HetNet dengan agregasi operator antar-situs. (Dari Pedersen, K.I., Michaelsen, P.H. dan Rosa, *Majalah Komunikasi IEEE C.* 2013, 51(5):64–71^[36].)

Untuk mengatasi masalah tersebut, proposal seperti penggunaan MSE yang ditingkatkan (estimasi status mobilitas), optimalisasi DRX panjang (penerimaan terputus-putus) untuk mobilitas, dan penemuan sel kecil antar-frekuensi yang ditingkatkan sedang diselidiki.

8.12 Manajemen Mobilitas Futuristik

Jaringan seluler saat ini menggunakan penahan mobilitas terpusat dalam arsitektur jaringan hierarkis. Misalnya, dalam jaringan GPRS/UMTS, GGSN, SGSN, dan RNC membentuk hierarki jangkar. Dalam penyebaran LTE, P-GW dan S-GW merupakan hierarki jangkar lain^[37] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.12.

8.12.1 Manajemen Mobilitas Terdistribusi

MM terpusat tidak optimal dengan arsitektur jaringan datar yang berkembang. Penerusan data melalui jangkar terpusat sering menghasilkan rute yang tidak optimal yang mengakibatkan peningkatan penundaan ujung ke ujung. Kedua, jangkar terpusat (seperti P-GW) juga menjadi satu titik kegagalan untuk sejumlah besar data yang melintasi ke/darinya. Ketiga, ada layanan tertentu yang memerlukan jaringan yang lebih dekat dari gateway penahan layanan seperti distribusi konten multimedia.

Untuk mengatasi kekurangan ini, Manajemen Mobilitas Terdistribusi (DMM) telah diusulkan oleh IETF^[37,38] dan dalam literatur pada umumnya^[39,40]. Pada catatan yang sama, meskipun bukan DMM, 3GPP menetapkan teknik Local IP Access dan Selected IP Traffic Offload (LIPA-SIPTO) di Rel-10 dan LIPA Mobility dan SIPTO di Jaringan Lokal (LIMONET) di Rel-12^[41] untuk hindari mengikat koneksi IP ke gateway inti. Ini terutama solusi offload data untuk mengurangi beban lalu lintas pada jaringan inti^[42,43].

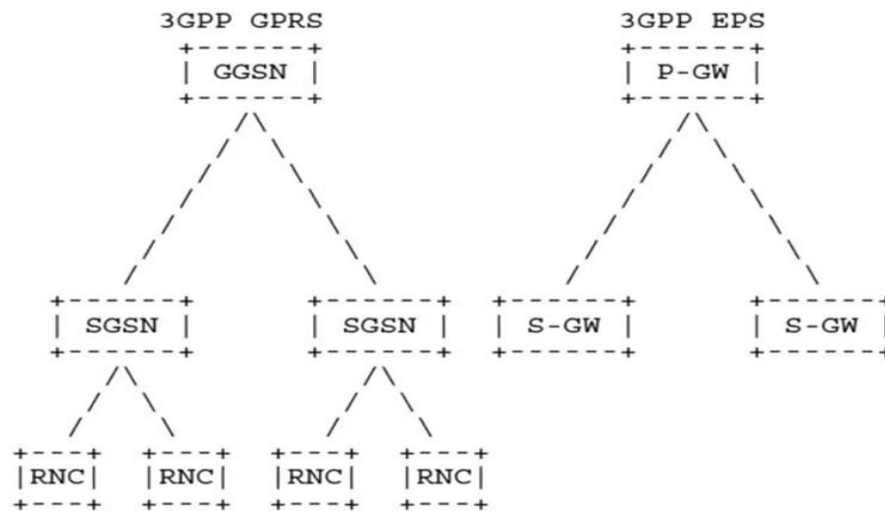
DMM didasarkan pada arsitektur yang lebih datar di mana jangkar mobilitas ditempatkan lebih dekat ke pengguna, sambil memisahkan bidang pengguna dan data. Ini juga membayangkan mobilitas perangkat antara jangkar mobilitas (seperti PGW LTE) yang saat ini tidak dipraktikkan dalam arsitektur terpusat^[44]. DMM dapat datang dalam dua jenis, termasuk DMM parsial di mana bidang data didistribusikan sementara bidang kontrol dipusatkan, dan di DMM penuh di mana data dan bidang kontrol didistribusikan.

Mempertimbangkan evolusi LTE menuju arsitektur DMM, tiga entitas jaringan inti, yaitu SGW, PGW, dan MME, dan LGW (Gateway Lokal) dan gateway eNodeB rumah di RAN perlu ditinjau kembali. SGW mengakhiri antarmuka menuju RAN, yang berarti perangkat hanya dapat mempertahankan koneksi pada lapisan IP atau di atasnya di luar gateway ini. Standar LTE mendukung handover intra-SGW melalui antarmuka S1 dan juga antar SGW yang berbeda. SGW terutama terletak di lokasi terpusat, sehingga akan sulit untuk mendukung fungsionalitas tipe DMM^[45].

PGW, di sisi lain, sangat sedikit bahkan dalam jaringan skala besar, menyediakan cakupan skala besar, dan dengan demikian tidak memerlukan dukungan dari mobilitas antar-PGW. Untuk alasan tersebut, mobilitas IP antara PGW tidak didukung dan bahkan perangkat tidak dapat menyimpan alamat IP yang sama jika mengubah PGW^[44].

MME mengelola bidang kontrol di jaringan LTE saat ini dan melakukan berbagai fungsi. Ini memelihara informasi tentang status perangkat, dan melakukan prosedur mode siaga seperti paging dan pelacakan perangkat. Itu juga memilih SGW dan PGW untuk perangkat dan melakukan pengelolaan pembawa terkait perangkat^[3,44]. Peran MME dan evolusinya dalam

mendukung DMM sedang diselidiki. Tidak seperti PGW, standar LTE mendukung handover antar dan intra MME dan MME biasanya berada pada SGW.



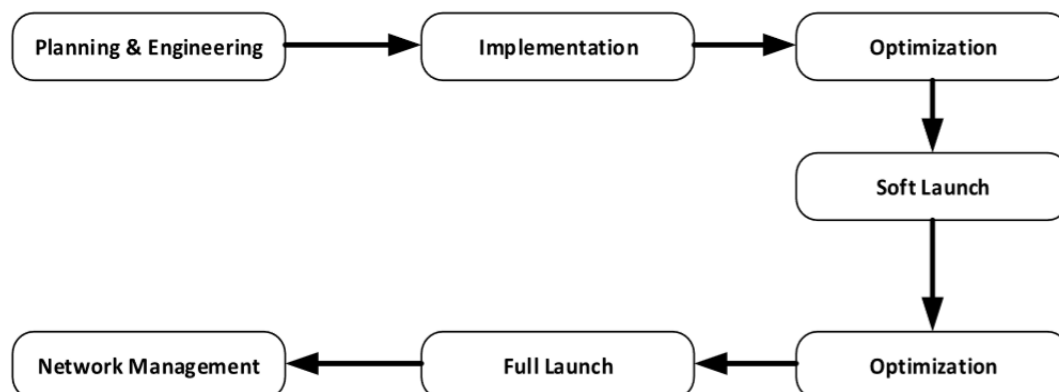
Gambar 8.12 Manajemen mobilitas terpusat. (Dari IETF 2014 RFC 7333: Persyaratan untuk Manajemen Mobilitas Terdistribusi, Agustus^[37].)

Penembusan LIPA terjadi di Gerbang Lokal (LGW) dan diterapkan dalam penyebaran perumahan dan perusahaan. Penembusan SIPTO dapat terjadi di LGW atau di HeNB Gateway. Kedua arsitektur ini sampai batas tertentu mengurangi beban pada SGW dan PGW [46]. Namun, saat ini, mobilitas antar LGW tidak diperbolehkan dan dengan demikian koneksi akan terputus begitu perangkat berpindah dari satu LGW ke LGW lainnya^[44].

8.13 Penyebaran Jaringan

Penyebaran jaringan lapangan hijau atau peningkatan jaringan yang ada melibatkan sejumlah langkah. Ada beberapa bagian dalam teka-teki yang perlu dipecahkan dan diklarifikasi sebelum dapat diserahkan kepada tim operasi jaringan untuk manajemen sehari-hari. Fase kunci penerapan meliputi perencanaan dan rekayasa, implementasi, optimasi, dan manajemen jaringan yang ditangani oleh masing-masing tim.

Jaringan end-to-end mencakup RAN, jaringan transport, jaringan inti, aplikasi/layanan bernilai tambah, dan lingkup operasi (tidak termasuk jaringan eksternal seperti Internet). Proses penyebaran jaringan tingkat tinggi ditunjukkan pada Gambar 8.14, sedangkan rincian penyebaran jaringan dapat ditemukan di^[1].



Gambar 8.14 Proses penyebaran jaringan tingkat tinggi.

8.14 Rekayasa dan Perencanaan

Tahap perencanaan dan desain terutama terdiri dari perencanaan jaringan, dimensi, dan perencanaan perluasan masa depan. Perencanaan radio awal terdiri dari alokasi situs sel, perencanaan lalu lintas, dan perencanaan jaringan radio yang ekstensif. Proses perencanaan dan perancangan jaringan meliputi estimasi intensitas trafik dan beban trafik. Jika jaringan sejenis sudah ada, pengukuran lalu lintas jaringan tersebut dapat digunakan untuk menghitung beban lalu lintas yang tepat. Jika tidak ada jaringan serupa, maka perencana jaringan dapat menggunakan metode peramalan telekomunikasi untuk memperkirakan intensitas lalu lintas yang diharapkan.

Selama latihan dimensi, jumlah elemen jaringan yang diperlukan dan kapasitasnya ditentukan untuk memenuhi tingkat layanan. Dimensi melibatkan perencanaan lalu lintas jam puncak, yaitu jam di siang hari di mana intensitas lalu lintas berada pada puncaknya. Aturan dimensi adalah bahwa perencana harus memastikan bahwa beban lalu lintas tidak boleh mendekati beban 100%. Untuk menghitung dimensi yang benar untuk mematuhi aturan di atas, perencana harus melakukan pengukuran lalu lintas jaringan secara terus-menerus, dan terus memelihara dan meningkatkan sumber daya untuk memenuhi persyaratan yang berubah. Persyaratan interkoneksi dengan operator lain juga harus diperhatikan. Latihan penanggulangan bencana harus menjadi bagian penting dari latihan. Perencanaan dan dimensi biasanya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak khusus.

Langkah terakhir dalam perencanaan jaringan adalah perkiraan untuk perluasan jaringan di masa depan untuk pelanggan tambahan, fitur baru, dan teknologi yang lebih baik^[19,47-50].

8.15 Implementasi

Implementasinya meliputi peluncuran fisik peralatan, pemasangan menara sel/sel kecil, pembangkit listrik, peletakan fiber di tanah, dan sebagainya. Ini juga terdiri dari peningkatan perangkat keras / perangkat lunak elemen jaringan.

Situs sel dirancang dan dipilih dengan hati-hati agar sesuai dengan pedoman peraturan setempat. Cakupan radio harus sedemikian rupa sehingga serah terima yang mulus dapat terjadi antara situs sel untuk mencakup seluruh area. Perangkat lunak perencanaan radio dan pengujian drive digunakan dalam proses penempatan situs sel.

Interoperabilitas dengan operator domestik lainnya, operator Internasional, dan konektivitas dengan Internet adalah bagian dari proses ini.

8.16 Optimisasi

Optimalisasi jaringan digunakan untuk memberikan kualitas layanan terbaik kepada pelanggan. Pengoptimalan dilakukan pasca peluncuran lunak berdasarkan klaster demi klaster. Pengoptimalan juga dilakukan sesuai kebutuhan, pasca aktivitas peluncuran penuh. Optimalisasi jaringan adalah proses yang mengukur kualitas jaringan dasar dan menyesuainya untuk bekerja pada efisiensi dan kualitas maksimum.

Proses optimasi RF mencakup uji lapangan yang dilakukan untuk menyesuaikan semua aspek kinerja jaringan antarmuka udara. Pengoptimalan jaringan awal dilakukan pada beberapa kelompok situs dan dimaksudkan untuk menyesuaikan parameter dan mengidentifikasi serta mendokumentasikan masalah cakupan dan kapasitas. Dan yang kedua, fase tweaking yang lebih rinci terjadi setelah berhasil menyelesaikan semua tes cluster dan setelah semua situs

sel (termasuk sel kecil) di jaringan diaktifkan. Optimalisasi seluruh sistem dibangun berdasarkan pengujian cluster dan merupakan proses berulang untuk memperbaiki masalah terkait cakupan dan kapasitas.

Dibandingkan dengan rekayasa jaringan, yang menambahkan sumber daya seperti tautan, router, dan sakelar ke dalam jaringan, rekayasa lalu lintas menargetkan perubahan jalur lalu lintas pada jaringan yang ada untuk mengurangi kemacetan lalu lintas atau mengakomodasi lebih banyak permintaan lalu lintas. Ini sangat penting ketika biaya perluasan jaringan sangat tinggi dan beban jaringan tidak seimbang secara optimal. Selama optimasi, area kinerja jaringan yang buruk diidentifikasi dan perubahan diterapkan untuk memperbaiki masalah. Penyesuaian ini dapat mencakup perubahan antena, kemiringan antena, orientasi antena, daya transmisi, dan parameter lainnya. Ini adalah proses berulang yang diulang sampai tujuan perencanaan jaringan tercapai; selanjutnya, jaringan diserahkan kepada operasi untuk manajemen jaringan sehari-hari.

8.17 Manajemen Jaringan

Di masa lalu, setiap elemen jaringan memiliki sistem pendukung operasinya sendiri yang sesuai untuk menyediakan kemampuan manajemen. Masing-masing sistem manajemen ini memiliki antarmuka pengguna yang berbeda dan platform komputasi yang berbeda untuk setiap elemen jaringan. Ini membuat tugas manajemen jaringan untuk tim operasi cukup membosankan dan mahal, terutama ketika elemen jaringan yang dipasang berasal dari OEM yang berbeda (produsen peralatan asli).

Sebagai penyedia layanan pindah ke 3G/4G dan lingkungan pemasok campuran, mereka tidak mampu membeli sistem manajemen yang terpisah untuk elemen jaringan yang berbeda dari pemasok yang berbeda. Untuk mengatasi masalah ini, TM Forum (TeleManagement Forum) telah memberikan pedoman dalam bentuk Framework untuk pengelolaan jaringan seluler yang efisien^[51].

Manajemen jaringan adalah tentang mengelola jaringan 24/7, 365 hari dalam setahun.

8.17.1 Operasi Frekuensi Tinggi dan Fleksibilitas Spektrum

Salah satu fitur utama NR adalah perluasan substansial dalam hal jangkauan spektrum di mana teknologi akses radio dapat digunakan. Tidak seperti LTE, di mana dukungan untuk spektrum berlisensi pada 3,5 GHz dan spektrum tidak berlisensi pada 5 GHz baru saja diperkenalkan, sejak rilis pertamanya, ekstensi ke spektrum tidak berlisensi juga sudah tersedia. NR mendukung operasi spektrum berlisensi dari di bawah 1 GHz hingga 52,6 GHz⁴¹

Operasi pada frekuensi gelombang mm menawarkan kemungkinan untuk spektrum dalam jumlah besar dan bandwidth transmisi yang sangat lebar, sehingga memungkinkan kapasitas lalu lintas yang sangat tinggi dan kecepatan data yang ekstrem. Namun, frekuensi yang lebih tinggi juga terkait dengan redaman saluran radio yang lebih tinggi, sehingga membatasi jangkauan jaringan. Meskipun ini sebagian dapat dikompensasikan melalui transmisi/penerimaan multiantena canggih, yang merupakan salah satu faktor pendorong untuk desain beam-centric di NR, kelemahan cakupan substansial tetap ada, terutama di non-line-of-sight dan outdoor- kondisi propagasi ke dalam ruangan. Dengan demikian, operasi di pita frekuensi rendah akan tetap menjadi komponen penting untuk komunikasi nirkabel juga di era 5G. Khususnya, joint operation pada spektrum yang lebih rendah dan lebih tinggi, misalnya, 2 GHz

⁴¹ Batas atas 52,6 GHz disebabkan oleh beberapa situasi spektrum yang sangat spesifik.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

dan 28 GHz, dapat memberikan manfaat yang cukup besar. Lapisan frekuensi yang lebih tinggi, dengan akses ke spektrum dalam jumlah besar dapat memberikan layanan kepada sebagian besar pengguna meskipun cakupannya lebih terbatas. Ini akan mengurangi beban pada spektrum frekuensi rendah yang lebih dibatasi bandwidth, kasus terburuknya, ini juga memungkinkan penggunaan untuk fokus pada pengguna.

Tantangan lain dengan pengoperasian di pita frekuensi tinggi adalah aspek regulasi. Untuk alasan non-teknis, aturan yang mendefinisikan radiasi yang diizinkan berubah pada 6 GHz, dari batasan berbasis SAR ke batasan yang lebih mirip EIRP, tergantung pada jenis perangkat (genggam, tetap, dll.), ini dapat mengakibatkan penurunan daya transmisi, membuat anggaran tautan lebih menantang daripada kondisi propagasi apa yang dapat ditunjukkan dan lebih lanjut menekankan manfaat dari kombinasi frekuensi rendah/frekuensi tinggi operasi.

8.17.2 Desain Ultra-Lean

Masalah dengan teknologi komunikasi seluler saat ini sama halnya dengan jumlah transmisi yang dibawa oleh node jaringan terlepas dari jumlah lalu lintas pengguna. Sinyal tersebut, kadang-kadang disebut sebagai sinyal "selalu aktif", termasuk-misalnya, sinyal untuk deteksi stasiun pangkalan, siaran informasi sistem, dan sinyal referensi selalu aktif untuk estimasi saluran. Di bawah kondisi lalu lintas khas yang dirancang LTE, transmisi tersebut hanya merupakan bagian kecil dari transmisi jaringan secara keseluruhan dan dengan demikian memiliki dampak yang relatif kecil pada kinerja jaringan. Namun, dalam jaringan yang sangat padat yang digunakan untuk kecepatan data puncak yang tinggi, beban lalu lintas rata-rata per node jaringan dapat diharapkan menjadi relatif rendah, sehingga membuat transmisi yang selalu aktif akan menjadi bagian yang lebih substansial dari transmisi jaringan secara keseluruhan.

Transmisi yang selalu aktif memiliki dua dampak negatif:

- Mereka memberlakukan batas atas pada kinerja energi jaringan yang dapat dicapai; dan
- Menyebabkan interferensi ke sel lain, sehingga mengurangi kecepatan data yang dapat dicapai.

Prinsip desain ultra-slim bertujuan untuk meminimalkan transmisi yang selalu aktif, sehingga memungkinkan kinerja energi jaringan menjadi lebih tinggi dan kecepatan data yang dapat dicapai lebih tinggi.

Sebagai perbandingan, desain LTE sangat didasarkan pada sinyal referensi spesifik sel, sinyal yang dapat diasumsikan oleh perangkat selalu ada dan digunakan untuk estimasi saluran, pelacakan, pengukuran mobilitas, dll. Dalam NR, banyak dari prosedur ini telah ditinjau kembali dan dimodifikasi untuk memperhitungkan prinsip desain ultra-slim. Misalnya, prosedur pencarian sel telah didesain ulang di NR dibandingkan dengan LTE untuk mendukung paradigma ultra-slim. Contoh lain adalah struktur sinyal referensi demodulasi di mana NR sangat bergantung pada sinyal referensi yang ada hanya ketika data ditransmisikan tetapi tidak sebaliknya.

8.17.3 Kompatibilitas Maju

Tujuan penting dalam pengembangan spesifikasi NR adalah untuk memastikan kompatibilitas maju tingkat tinggi dalam desain antarmuka radio. Dalam konteks ini, kompatibilitas ke depan menyiratkan desain antarmuka radio yang memungkinkan evolusi substansial di masa depan, dalam hal memperkenalkan teknologi baru dan memungkinkan layanan baru dengan

persyaratan dan karakteristik yang belum diketahui, sambil tetap mendukung perangkat lama pada operator yang sama.

Kompatibilitas ke depan secara inheren sulit dijamin. Namun berdasarkan pengalaman dari evolusi generasi sebelumnya, 3GPP menyepakati beberapa prinsip desain dasar terkait dengan kompatibilitas ke depan NR seperti dikutip dari [3]:

- Memaksimalkan jumlah waktu dan sumber daya frekuensi yang dapat digunakan secara fleksibel atau yang dapat dibiarkan kosong tanpa menyebabkan masalah kompatibilitas mundur di masa mendatang;
- Meminimalkan transmisi sinyal yang selalu aktif;
- Membatasi sinyal dan saluran untuk fungsionalitas lapisan fisik dalam sumber daya waktu/frekuensi yang dapat dikonfigurasi/dialokasikan.

Sesuai dengan butir ketiga, seseorang harus dan sebisa mungkin menghindari transmisi pada sumber daya waktu/frekuensi yang ditetapkan oleh spesifikasi. Dengan cara ini, seseorang mempertahankan fleksibilitas untuk masa depan, ini juga memungkinkan pengenalan jenis transmisi baru di kemudian hari dengan batasan terbatas dari sinyal dan saluran lama. Ini berbeda dari pendekatan yang diambil di LTE, di mana, misalnya, protokol hybrid-ARQ sinkron digunakan, maka ini menyiratkan transmisi ulang di uplink terjadi pada titik waktu tetap setelah transmisi awal. Saluran kontrol juga jauh lebih fleksibel dalam NR dibandingkan LTE agar tidak memblokir sumber daya yang tidak perlu.

Perhatikan bahwa prinsip-prinsip desain ini sebagian bertepatan dengan tujuan desain ultra-slim seperti yang dijelaskan di atas. Ada juga kemungkinan di NR untuk mengonfigurasi sumber daya yang dicadangkan, yaitu, sumber daya frekuensi waktu yang, ketika dikonfigurasi, tidak digunakan untuk transmisi dan dengan demikian tersedia untuk ekstensi antarmuka radio di masa mendatang. Mekanisme yang sama juga dapat digunakan untuk koeksistensi LTE-RN dalam kasus operator LTE dan NR yang tumpang tindih.

8.18 Kesimpulan

Evolusi jaringan seluler dari 2G ke 4G dijelaskan secara singkat dalam bab ini. Arsitektur jaringan 5G masih berkembang dan detailnya masih samar, namun, detail yang cukup besar telah disediakan, yang dapat membantu para peneliti untuk membawa pengembangan ke tingkat berikutnya.

Tiga bab berikutnya akan mencakup berbagai aspek akses radio, transportasi, inti, dan area operasi arsitektur jaringan.

8.19 Pertanyaan

1. Jelaskan komponen utama jaringan GSM?
2. Jelaskan perubahan arsitektur utama yang dibuat dalam arsitektur UMTS dari Rel-99 ke Rel-7?
3. Apa perbedaan utama dalam arsitektur LTE dan LTE-Advanced?
4. Apa saja komponen utama yang diharapkan dari jaringan 5G?
5. Apa itu fronthaul?
6. Diskusikan apakah diperlukan lebih dari satu RAT untuk 5G?

7. Definisikan manajemen mobilitas?
8. Jelaskan secara singkat apa itu CSFB?
9. Jelaskan SRVCC dan berbagai bentuknya?
10. Apa itu Manajemen Mobilitas Terpusat?
11. Jelaskan beberapa kelemahan dari Manajemen Mobilitas Terpusat?
12. Apa itu Manajemen Mobilitas Terdistribusi?
13. Berdasarkan konsep yang dijelaskan dalam bab ini, gambarkan Jaringan 5G untuk negara Anda?
14. Jelaskan langkah-langkah yang masuk dalam penyebaran jaringan?

8.20 Referensi

1. Asif, S.Z. 2007. *Wireless Communications Evolution to 3G and Beyond*. Artech House, Inc., Norwood, MA, USA.
2. 3GPP TS 23.002 (V 12.3.0) 2013. *Network Architecture. Technical Specification (Release 12)*, Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, December
3. Willie, W.L. 2002. *Broadband Wireless Mobile*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
4. Asif, S.Z. 2011. *Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications*. Wiley Inc., UK.
5. 3GPP Releases. <http://www.3gpp.org/specifications/67-releases>
6. Khartabil, H. et al. 2006. *The IMS: IP Multimedia Concepts and Services*. John Wiley & Sons, New York.
7. 3GPP TS 23.919 (V 13.0.0) 2005. *Direct Tunnel Deployment Guideline. Technical Report (Release 13)*, Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, December.
8. Dong, Y. 2013. *LTE-Advanced: Radio Access Network Resource Management*. Master Thesis, University of Bremen.
9. NGMN Alliance 2011. *5G White Paper*.
10. METIS 2015. *Final Report on the METIS 5G System Concept and Technology Roadmap. Document Number: ICT-317669-METIS/D6.6. Mobile and Wireless Communications Enablers for the TwentyTwenty Information Society (METIS)*, April.
11. 5GPPP 2016. *View on 5G Architecture, 5G PPP Architecture Working Group*, July.
12. Zhang, M.A. 2015. *Key Techniques for 5G Wireless Communications: Network Architecture, Physical Layer, and MAC Layer Perspectives*. Science China Information Sciences, Science China Press and Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 58(041301)1:20.
13. Huawei Technologies Co. LTD 2013. *5G: A Technology Vision*.
14. Nokia Solutions and Networks 2013. *Looking ahead to 5G*, December.
15. SearchSDN (c/o TechTarget). *What Is the Difference between SDN and NFV?* <http://searchsdn.techtarget.com/answer/What-is-the-difference-between-SDN-and-NFV>.
16. Americas 2015. *NFV and SDN Networks*, November.
17. Liou, R-H. and Lin, Y-B. 2013. *An Investigation on LTE Mobility Management*. IEEE Transactions on Mobile Computing, 12(1):166–176.

18. 3GPP TS 23.060 (V 7.2.0) 2006. General Packet Radio Service (GPRS); Service Description; Stage 2. Technical Specification (Release 7), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, October.
19. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.
20. Wang, M., Michael, G. and Rahim, T. 2008. Signalling Cost Evaluation of Mobility Management Schemes for Different Core Network Architectural Arrangements in 3GPP LTE/SAE. Proceedings of the Vehicular Technology Conference, Marina Bay, Singapore, May 11–14, 2008, pp. 2253–2258.
21. 3GPP TS 23.402 (V 9.0.0) 2009. Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses. Technical Specification (Release 9), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
22. 3GPP TS 23.401 (V 9.0.0) 2009. General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access. Technical Specification (Release 9), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
23. 3GPP TS 23.401 (V 10.10.0) 2013. General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access. Technical Specification (Release 10), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
24. 3GPP TS 23.272 (V 12.1.0) 2013. Circuit Sw ITC hed (CS) Fallback in Evolved Packet System (EPS); Stage 2. Technical Specification (Release 12), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, December.
25. 3GPP TS 23.216 (V 12.0.0) 2013. Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC); Stage 2. Technical Specification (Release 12), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, December.
26. Americas 2013. 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 11 & Release 12 and Beyond, February.
27. Nokia Solutions and Networks 2013. Evolve to Richer Voice with Voice over LTE (VoLTE), November.
28. Qualcomm 2012. VoLTE with SRVCC: The Second Phase of Voice Evolution for Mobile LTE Devices, October.
29. Shwetha, V. 2011. Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC) with LTE. Radisys, September. <http://www.slideshare.net/allabout4g/wpsrvccwithlte.pdf>
30. Nokia Siemens Networks 2012. CS Fallback (CSFB).
31. GSMA 2010. IR.92 IMS Profile for Voice and SMS V3.0.
32. GSMA 2011. IR.94 IMS Profile for Conversational Video Service V1.0
33. Ahmadi, S. 2014. LTE-Advanced. Elsevier Inc., Oxford, UK. <http://books.google.com.pk/books?id=DTsTAAAAQBAJ&pg=PA90&lpg=PA90&dq=lte+asrvcc&source=bl&ots=zQ8N4EJfoC&sig=3NKUB5ICBip4yBgID6jBHSFVA&hl=en&sa=X&ei=>
34. Agaur 2012. Evolution of Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC). <http://lteworld.org/blog/evolution-single-radio-voice-call-continuity-srvcc>
35. 3GPP TS 22.278 (V 12.4.0) 2013. Service Requirements for the Evolved Packet System (EPS). Technical Specification (Release 12), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, September.

36. Pedersen, K.I., Michaelsen, P.H. and Rosa, C. 2013. Mobility Enhancements for LTE-Advanced Multilayer Networks with Inter-Site Carrier Aggregation. *IEEE Communications Magazine*, 51(5):64–71
37. IETF 2014. RFC 7333: Requirements for Distributed Mobility Management, August.
38. IETF 2015. RFC 7429: Distributed Mobility Management: Current Practices and Gap Analysis, January
39. Giust, F., Cominardi, L. and Bernados, C.J. 2015. Distributed Mobility Management for Future 5G Networks: Overview and Analysis of Existing Approaches. *IEEE Communications Magazine*, 53(1):142–149.
40. Nguyen, T.-T., Bonnet, C. and Harri, J. 2016. SDN-Based Distributed Mobility Management for 5G network. *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Doha, Qatar, 3–7 April
41. 3GPP TS 23.859 (V 12.0.1) 2013. Local IP Access (LIPA) Mobility and Selected IP Traffic Offload (SIPTO) at the Local Network. Technical Report (Release 12), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, April
42. America 2014. Executive Summary: Inside 3GPP Release 12: Understanding the Standards for HSPA+ and LTE-Advanced Enhancements, March.
43. Americas 2013. Mobile Broadband Explosion: The 3GPP Wireless Evolution, (Rysavy Research for 4G Americas), August.
44. Costa, R. et al. 2013. Distributed Mobility Management: A Standards Landscape. *IEEE Communications Magazine*, 51(3):80–87.
45. Panigrahi, P. 2012. LTE Handover Overview. <http://www.3GInfo.com/lte-handover-overview/>
46. Samdanis, K., Taleb, T. and Schmid, S. 2011. Traffic Offload Enhancements for eUTRAN. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 14(3):884–896.
47. Ojanpera, T. and Prasad, R. 1998. *Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications*. Artech House, Boston, MA.
48. Lawrence, H., Levine, R. and Kikta, R. 2002. *3G Wireless Demystified*. McGraw-Hill, New York, NY.
49. Penttinen A. 1999. Chapter 10—Network Planning and Dimensioning, *Lecture Notes: S-38.145— Introduction to Teletraffic Theory*. Helsinki University of Technology, Fall.
50. Farr, R.E. 1988. *Telecommunications Traffic, Tariffs and Costs—An Introduction for Managers*. Peter Peregrinus Ltd.
51. TM Forum. Framework. <https://www.tmforum.org/tm-forum-framework-2/>

BAB 9

JARINGAN AKSES RADIO 4G/5G

Seperti judulnya, fokus bab ini adalah pada jaringan akses radio 4G dan 5G. Jaringan radio 4G dirancang untuk memenuhi persyaratan kerangka kerja IMT-Advanced ITU. LTE-Advanced dari 3GPP, yang merupakan peningkatan dari LTE, adalah teknologi 4G yang dinyatakan oleh ITU. LTE-Advanced distandarisasi dalam 3GPP Release-10 pada Juni 2011 dan peningkatan terus dilakukan di setiap rilis berikutnya. Untuk membedakan peningkatan, 3GPP telah mengidentifikasi Rilis 8-9 sebagai LTE, Rilis 10-12 sebagai LTE-Advanced, dan Rilis 13 dan seterusnya sebagai LTE-Advanced Pro. Menurut Asosiasi Pemasok Seluler Global (GSA), ada 194 jaringan seluler LTE/LTE-Advanced di 95 negara dan dari jaringan ini, 19 adalah LTE-Advanced Pro yang diaktifkan di 15 negara. Jumlahnya meningkat^[1].

Kata buzz industri saat ini adalah 5G, generasi kelima dari komunikasi seluler, yang sedang dalam pengembangan. 3GPP adalah satu-satunya forum di mana sebagian besar pemangku kepentingan bekerja sama untuk merumuskan dan mengembangkan satu set lengkap spesifikasi 5G. 3GPP telah membagi pengembangan standar 5G menjadi dua fase di mana 5G Fase 1 dikembangkan di Rilis-15 sedangkan 5G Fase 2 akan ditentukan di Rilis-16. Standar 5G berbasis 3GPP diharapkan memenuhi persyaratan IMT-2020 ITU dan akan tersedia untuk inspeksi sebelum batas waktu yang diusulkan ITU tahun 2019. ITU diharapkan untuk menerbitkan standar 5G pada tahun 2020.

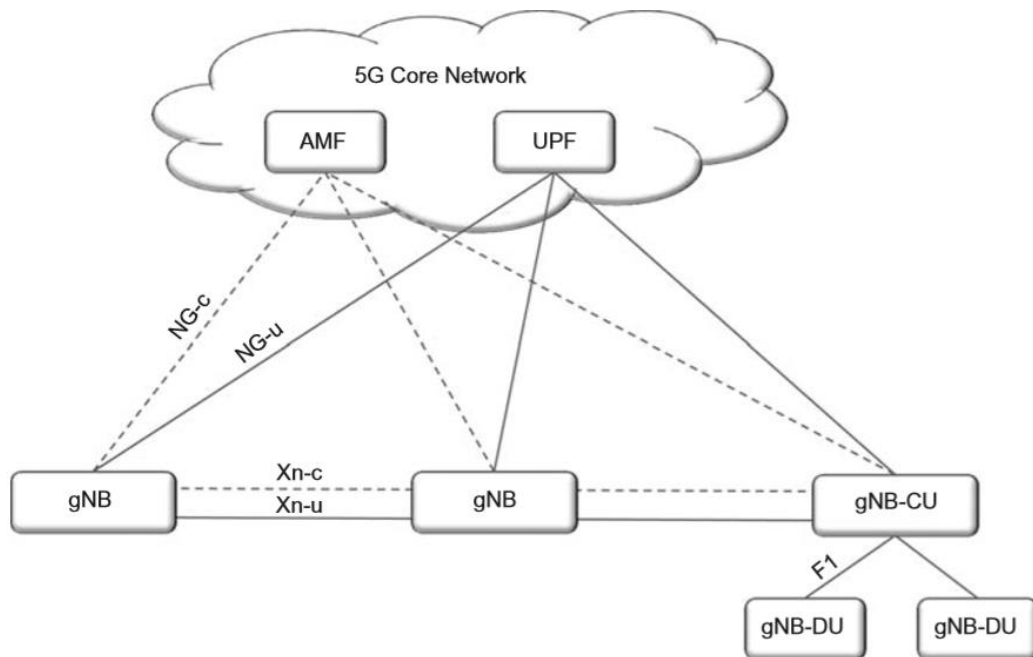
9.1 Jaringan Akses Radio

Jaringan akses radio dapat memiliki dua jenis node yang terhubung ke jaringan inti 5G:

- Sebuah gNB, melayani perangkat NR menggunakan protokol bidang-pengguna dan bidang-kontrol RN; atau
- Sebuah ng-eNB, yang melayani perangkat LTE menggunakan protokol bidang-pengguna dan bidang-kontrol LTE.

Jaringan akses radio yang terdiri dari ng-eNB untuk akses radio LTE dan gNB untuk akses radio NR dikenal sebagai NG-RAN, meskipun istilah RAN akan digunakan sebagai penyederhanaan. Selanjutnya, akan diasumsikan bahwa RAN terhubung ke inti/core 5G dan terminologi 5G, seperti gNB yang akan digunakan selanjutnya. Dengan kata lain, deskripsi akan mengasumsikan jaringan inti 5G dan RAN berbasis NR seperti yang ditunjukkan pada opsi 2 pada Gambar 9.1a. Namun, seperti yang telah disebutkan, NR versi pertama beroperasi dalam mode non-standalone di mana NR terhubung ke EPC menggunakan opsi 3. Prinsipnya dalam hal ini serupa, meskipun penamaan node dan antarmuka sedikit berbeda.

GNB (atau ng-eNB) bertanggung jawab untuk semua fungsi terkait radio dalam satu atau beberapa sel, misalnya, manajemen sumber daya radio, kontrol masuk, pembentukan koneksi, perutean data bidang pengguna ke UPF dan informasi bidang kontrol ke AMF, dan manajemen aliran QoS. Penting untuk dicatat bahwa gNB adalah simpul logis dan bukan implementasi fisik. Salah satu implementasi umum gNB adalah situs tiga sektor, di mana stasiun pangkalan menangani transmisi dalam tiga sel, meskipun implementasi lain dapat ditemukan juga, seperti satu unit pemrosesan pita dasar yang menghubungkan beberapa kepala radio jarak jauh. Contoh yang terakhir adalah sejumlah besar sel dalam ruangan, atau beberapa sel di sepanjang jalan raya, milik gNB yang sama. Dengan demikian, stasiun pangkalan adalah kemungkinan implementasi, tetapi tidak sama dengan, gNB.



Gambar 9.1a Interface jaringan akses radio

Seperti dapat dilihat pada Gambar 9.1a, gNB terhubung ke jaringan inti 5G melalui antarmuka NG, lebih khusus lagi ke UPF melalui bagian bidang pengguna NG (NG-u), dan ke AMF dengan sarana bagian bidang kendali NG (NG-c). Satu gNB dapat dihubungkan ke beberapa UPF/AMF untuk tujuan berbagi beban dan redundansi.

Antarmuka Xn, menghubungkan gNB satu sama lain, terutama digunakan untuk mendukung mobilitas mode aktif dan konektivitas ganda. Antarmuka ini juga dapat digunakan untuk fungsi Radio Resource Management (RRM) multisel. Antarmuka Xn juga digunakan untuk mendukung mobilitas lossless antara sel tetangga melalui penerusan paket.

Ada juga cara standar untuk membagi gNB menjadi dua bagian, unit pusat (gNB-CU) dan satu atau lebih unit terdistribusi (gNB-DU) menggunakan antarmuka F1. Dalam kasus gNB split, protokol RRC, PDCP, dan SDAP, yang dijelaskan lebih rinci di bawah, berada di gNB-CU dan entitas protokol yang tersisa (RLC, MAC, PHY) di gNB-DU.

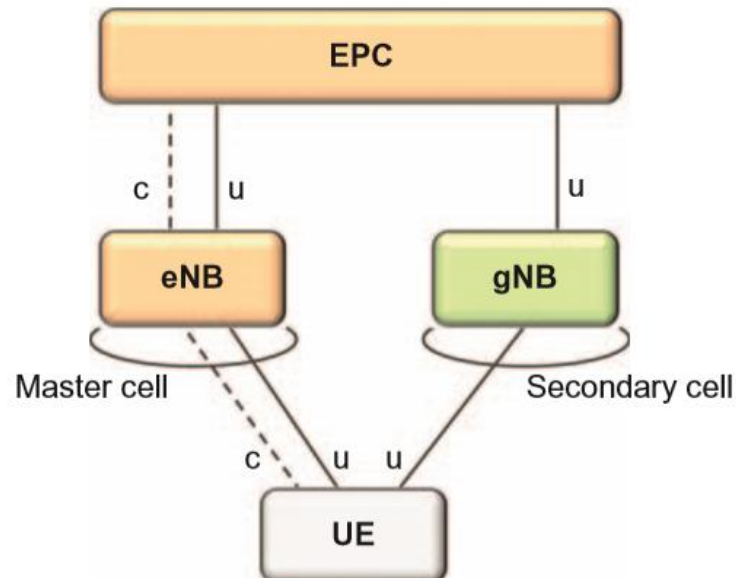
Antarmuka antara gNB (atau gNB-DU) dan perangkat dikenal sebagai antarmuka Uu.

Agar perangkat dapat berkomunikasi, setidaknya satu koneksi antara perangkat dan jaringan diperlukan. Sebagai dasar, perangkat terhubung ke satu sel yang menangani semua transmisi uplink dan downlink. Semua aliran data, data pengguna serta pensinyalan RRC, ditangani oleh sel ini. Ini adalah pendekatan yang sederhana dan kuat, cocok untuk berbagai penerapan. Namun, mengizinkan perangkat untuk terhubung ke jaringan melalui banyak sel dapat bermanfaat dalam beberapa skenario. Salah satu contohnya adalah agregasi bidang pengguna, di mana aliran dari beberapa sel digabungkan untuk meningkatkan kecepatan data. Contoh lain adalah pemisahan control-plane/user-plane dimana komunikasi control plane ditangani oleh satu node dan user plane oleh yang lain. Skenario perangkat yang terhubung ke dua sel dikenal sebagai konektivitas ganda.

Konektivitas ganda antara LTE dan NR sangat penting karena merupakan dasar untuk operasi non-standalone menggunakan opsi 3 seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9.1b. Sel induk berbasis LTE menangani bidang kontrol dan (berpotensi) pensinyalan bidang pengguna, dan

sel sekunder berbasis NR hanya menangani bidang pengguna, pada intinya meningkatkan kecepatan data.

Konektivitas ganda antara NR dan NR bukan bagian dari rilis 15 versi Desember 2017 tetapi dimungkinkan di versi rilis 15 Juni 2018 final



Gambar 9.1b dual konektivitas LTE-RN menggunakan opsi 3

9.2 Perilisan 3GPP

3GPP didirikan pada tahun 1998 untuk mengembangkan standar evolusi sistem GSM 2G. Saat ini menyatukan tujuh organisasi pengembangan standar telekomunikasi (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC⁴²) yang dikenal sebagai "Mitra Organisasi" dan menyediakan anggota dengan lingkungan yang stabil untuk menghasilkan laporan dan spesifikasi yang mendefinisikan teknologi 3GPP^[2].

Standar 3GPP disusun sebagai Rilis. Setelah rilis dibekukan, tidak ada perubahan teknis yang dapat dilakukan dan kemudian dianggap siap untuk diimplementasikan. 3GPP bekerja pada sejumlah rilis secara paralel di mana ia memulai pekerjaan di masa depan jauh sebelum penyelesaian rilis saat ini^[2].

3GPP menyelesaikan rilis pertamanya, yaitu Rel-99, pada bulan Desember 1999, yang menyediakan spesifikasi untuk 3G. Saat ini, 3GPP mendefinisikan 5G di Rel-15/Rel-16 yang diharapkan akan selesai dalam dua tahun ke depan. Bagian ini hanya akan memberikan snapshot (Gambar 9.1) dari fitur utama dari rilis ini^[3-5], dan untuk detailnya, pembaca dapat merujuk ke dokumen relevan yang disediakan 3GPP^[6-17].

Aspek Utama Rel-99: 3GPP dengan Rel-99-nya, yang diselesaikan pada Desember 1999, menghadirkan sistem 3G berbasis W-CDMA dengan jaringan radio yang berkembang yang disebut UTRAN. Teknik akses baru, yaitu CDMA, dapat diterapkan untuk mode dupleks FDD

⁴² Asosiasi Industri dan Bisnis Radio (ARIB) Jepang, Aliansi untuk Solusi Industri Telekomunikasi (ATIS) AS, Asosiasi Standar Komunikasi China (CCSA), Institut Standar Telekomunikasi Eropa (ETSI), Masyarakat Pengembangan Standar Telekomunikasi, India (TSDSI), Telekomunikasi Asosiasi Teknologi (TTA) Korea, Komite Teknologi Telekomunikasi (TTC) Jepang.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

dan TDD. BSC canggih yang disebut RNC (Radio Network Controller) diperkenalkan. Saluran radio di W-CDMA lebarnya 5 MHz dibandingkan dengan saluran GSM/GPRS 200 kHz. Mendukung hingga 2 Mbps di kedua arah dalam saluran 5 MHz.

Sistem W-CDMA memiliki kemampuan untuk melakukan handover ke jaringan GSM/GPRS dimana jangkauan UMTS tidak tersedia. Rel-99 mewarisi banyak dari model GSM di sisi jaringan inti. Jaringan inti Rel-99 merupakan evolusi dari jaringan inti GSM yang berbasis MAP (Mobile Application Part). Rel-99 juga mendukung jaringan akses radio GSM BSS lama. Fitur kompatibilitas mundur ini membantu ponsel lawas beroperasi di jaringan 3GPP Rel-99 dengan cara yang mulus.

Aspek Utama Rel-4: Rel-4 dikaitkan dengan lahirnya teknologi radio TD-SCDMA dan EDGE. EDGE adalah teknologi berbasis TDM yang menyediakan evolusi untuk sistem 2G IS-136 dan GSM dengan kemampuan mendukung hingga 473,6 kbps. TD-SCDMA atau UTRA/UMTS-TDD 1,28 Mcps Low Chip Rate (LCR) adalah teknologi 3G buatan China. TD-SCDMA mendukung 2 Mbps dalam bandwidth saluran 1,6 MHz dan menggunakan jaringan inti UMTS.

Rel-4 memiliki fitur dukungan ucapan yang ditingkatkan, misalnya, dengan operasi bebas transcoder dan operasi bebas tandem⁴³. Peningkatan ini memberikan efisiensi transmisi dan pengurangan biaya di jaringan inti dan berlaku untuk sistem GSM dan UMTS. Rel-4 selesai pada Juni 2001.

Aspek Utama Rel-5: Dua fitur utama Rel-5 adalah IMS (IP Multimedia Subsystem) dan HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). HSDPA mendukung kecepatan data puncak masing-masing 14,4 Mbps dan 384 kbps di downlink dan uplink. IMS adalah subsistem jaringan inti khusus, sistem pensinyalan terbuka, berdasarkan teknologi Internet standar, menggunakan Session Initiation Protocol (SIP), mendukung migrasi aplikasi Internet (seperti VoIP, konferensi video, pesan, dll.) ke lingkungan seluler, dan menawarkan kemampuan kontrol layanan yang ditingkatkan.

Antarmuka Iu-PS diaktifkan yang memungkinkan GERAN (GSM EDGE Radio Access Network) terhubung langsung ke jaringan inti paket UMTS. Transportasi berbasis IP diaktifkan, bukan hanya Asynchronous Transfer Mode (ATM) di jaringan inti. Kerangka kerja untuk QoS end-to-end juga diperkenalkan untuk domain packet-sw ITC hed. Rel-5 selesai pada September 2002.

Aspek Utama dari Rel-6: Rel-6 mengaktifkan mitra HSDPA, yaitu HSUPA, untuk mendukung kecepatan data yang lebih tinggi di uplink. HSUPA, menggunakan Enhanced Dedicated Channel (E-DCH) dan teknik lainnya, mendukung kecepatan data puncak 5,76 Mbps dalam uplink. Mendukung beberapa antena penerima untuk terminal HSDPA yang meningkatkan kapasitas jaringan UMTS.

Multimedia Broadcast and Multicast Service (MBMS) diperkenalkan untuk mendukung multimedia. MBMS adalah layanan penyiaran dan sarana penyampaian mobile TV kepada massa melalui jaringan UMTS. IMS ditingkatkan dengan beberapa fitur termasuk messaging, interworking antara IMS dan circuit sw ITC hed dan jaringan IP non-IMS, dan pengisian berbasis IMS. Rel-6 selesai pada September 2005.

⁴³ Operasi Bebas Tandem adalah konfigurasi panggilan suara atau multimedia yang transcodeNRya tidak digunakan tetapi ada. Operasi Bebas Transcoder adalah konfigurasi panggilan suara atau multimedia yang transcodeNRya tidak ada di jalur komunikasi.

Aspek Utama Rilis 7: Rel-7 memperkenalkan HSPA (HSPA+) yang telah berevolusi, EDGE yang berevolusi, dan peningkatan pada IMS dan MBMS dan diselesaikan pada Maret 2008. HSPA (Akses Paket Berkecepatan Tinggi) mencakup sistem HSDPA dan HSUPA. HSPA+ mendukung kecepatan data puncak 28 Mbps di downlink dan 11,5 Mbps di uplink. Penyempurnaan radio ke HSPA+ termasuk 64 Quadrature Amplitude Modulation (64-QAM) di downlink dan 16-QAM di uplink, MIMO untuk meningkatkan cakupan/kapasitas dan efisiensi spektral, dan equalizer MMSE yang meminimalkan noise/interferensi untuk menambah keragaman penerimaan. Dan itu juga memperkenalkan UMTS di pita 900 MHz dan memberikan dukungan untuk pita tambahan dalam mode FDD dan TDD.

Rel-7 juga meningkatkan teknologi EDGE yang ada untuk mendukung kecepatan data puncak 1 Mbps. Ini meningkatkan kinerja uplink melalui skema modulasi 16-ary dan 32-ary dan turbo coding dan memberikan pensinyalan yang lebih cepat dengan Signaling Transport (SIGTRAN). Selanjutnya, untuk mengatasi keterbatasan bandwidth kanal 200 kHz GSM, disarankan menggunakan dual carrier di downlink.

Rel-7 menyediakan beberapa perbaikan untuk menjalankan layanan suara circuit sw ITC hed melalui HSPA untuk meningkatkan kapasitas. MBMS dioptimalkan dengan fungsi jaringan frekuensi tunggal (MBSFN), sementara IMS ditingkatkan dengan memungkinkan beberapa UE untuk mendaftar dengan Identitas Pengguna Publik yang sama dan dengan mendukung layanan telepon multimedia.

Aspek Kunci Rilis 8: Rel-8 mendefinisikan EPS yang terdiri dari E-UTRAN (LTE) dan EPC. EPS adalah seratus persen teknologi packet-sw ITC hed dan dengan demikian secara fundamental berbeda dari sistem 2G GSM dan 3G UMTS. Perbedaan signifikan lainnya adalah sistem 3G menggunakan CDMA sedangkan LTE didasarkan pada metode akses OFDMA (Orthogonal FDMA). Penggunaan simultan MIMO dan 64-QAM diizinkan di HSPA bersama dengan dual carrier HSDPA (DC-HSDPA) di mana dua pembawa downlink dapat digabungkan untuk menggandakan throughput data. Rel-8 dibekukan secara fungsional pada Maret 2009.

Aspek Utama dari Rilis 9: Tidak ada RAN atau jaringan inti baru yang didefinisikan di Rel-9, namun, peningkatan dilakukan pada keduanya. Konsep femtocell (Home eNodeB), Self-Organizing Networks (SON), dan siaran multimedia dan layanan multicast (eMBMS) yang berkembang telah ditetapkan untuk LTE. Selanjutnya, pita spektrum baru (misalnya, 800 MHz dan 1500 MHz) diidentifikasi untuk operasi LTE. DC-HSDPA dalam kombinasi dengan MIMO bersama dengan dual-carrier HSUPA telah diidentifikasi^[18]. Rel-9 juga mendukung fitur pengaturan seperti pemosisian peralatan pengguna darurat, Commercial Mobile Alert System (CMAS), dan evolusi arsitektur IMS. Rel-9 dibekukan secara fungsional pada Maret 2010.

Aspek Utama Rilis 10: LTE-Advanced (4G), yang memenuhi persyaratan IMT-Advanced ITU, didefinisikan dalam Rel-10. Fitur utama LTE-Advanced termasuk agregasi operator hingga 100 MHz Enhanced MIMO (8 × 8 MIMO di downlink dan 4 × 4 MIMO di uplink), ICIC yang ditingkatkan (InterCell Interference Coordination), HetNets, dan peningkatan di SON (Self-Organizing Network) dan MBMS. Untuk HSPA, ini mendukung operasi quad-carrier dan opsi MIMO tambahan. Rel-10 juga memprakarsai pekerjaan Minimization of Drive Tests (MDT) dan dibekukan secara fungsional pada Juni 2011.

Aspek Utama Rilis 11: Untuk LTE, Rel-11 mendukung fitur Coordinated Multi-Point (CoMP) untuk penjadwalan terkoordinasi, Enhanced Physical Control Channel (EPDCCH) untuk meningkatkan kapasitas saluran kontrol, dan ICIC (FeICIC) yang ditingkatkan lebih lanjut untuk perangkat dengan gangguan pembatalan. Untuk HSPA, 8 carrier aggregation dengan

bandwidth agregat hingga 40 MHz di downlink, agregasi carrier HSDPA noncontiguous, 4×4 MIMO di downlink, dan 2×2 MIMO di uplink didukung [19]. Beberapa peningkatan untuk MTC, IMS, integrasi terkait WiFi, Home NodeB, HeNB, dan sebagainya telah diidentifikasi. Rel-11 dibekukan secara fungsional pada Maret 2013 dan tidak menambahkan akses radio baru dan teknologi jaringan inti.

Aspek Utama Rilis 12: Untuk LTE, agregasi operator FDD-TDD, komunikasi perangkat ke perangkat (juga disebut sebagai Layanan Kedekatan), dan konektivitas ganda telah ditentukan. Penyempurnaan dibuat untuk sel kecil/HetNets, MTC, MIMO, dan SON. Selanjutnya, mekanisme pemulihan ditambahkan untuk MBMS dan adaptasi dinamis dari rasio uplink-downlink diperkenalkan untuk pemanfaatan sumber daya TDD yang lebih baik. Untuk HSPA, peningkatan diperkenalkan di HetNets, Enhanced Uplink, Home NodeB, dan saluran khusus. Selain itu, fitur diperkenalkan untuk perbaikan di MTC, keamanan publik, integrasi WiFi, WebRTC (Web Real-Time Communication), dan sebagainya.^[20] Rel-12 dibekukan secara fungsional pada Maret 2015 dan tidak menambahkan akses radio baru dan teknologi jaringan inti.

Aspek Utama dari Rilis 13: LTE-Advanced Pro adalah penanda LTE yang disetujui 3GPP untuk menjelaskan spesifikasi yang sesuai dari Rilis-13 dan untuk menunjukkan bahwa platform LTE telah ditingkatkan secara signifikan untuk menangani pasar baru dengan efisiensi yang jauh lebih baik. Rel-13 menyelesaikan spesifikasi untuk layanan kritis misi (seperti Push-To-Talk misi kritis), agregasi operator yang mendukung 32 operator komponen, akses bantuan berlisensi (LAA) pada 5 GHz, MIMO dimensi penuh, MTC dan CoMP yang disempurnakan, dan beberapa orang lain. Fitur HSPA+ mencakup dukungan untuk CA uplink dual-band. Rel-13 dibekukan secara fungsional pada Maret 2016.

Aspek Utama Rilis 14: Rel-14 terutama dikaitkan dengan item studi untuk 5G dan dibekukan secara fungsional pada Juni 2017. Rel-14 menyertakan transmisi superposisi multi-pengguna downlink (HARUS), dukungan untuk V2X/C-V2X (V2X Seluler) layanan berbasis LTE, peningkatan dalam CoMP, FD-MIMO LAA (License Assisted Access), NB-IoT (Narrow band Internet of Things), dukungan untuk pengurangan latensi, dan banyak lainnya.

Aspek Utama Rilis 15: Rel-15 mendefinisikan fase pertama 5G dengan perkiraan selesai pada September 2018. Ini akan menjelaskan Radio Baru 5G non-mandiri, yaitu 5G NR yang menggunakan jaringan inti LTE. Ini akan membangun spesifikasi berdasarkan persyaratan IMT-2020 ITU dan skenario penggunaan. Peningkatan diharapkan dalam interworking 4G-5G, MIMO/beamforming, LAA, NB-IoT, dan banyak lainnya.

Aspek Utama dari Rilis 16: Rel-16 akan menentukan fase kedua 5G yang akan mencakup NGC atau Next Generation Core. Ini disebut 5G mandiri dan tidak memerlukan jaringan inti LTE. Peningkatan diharapkan di HSPA+ dan LTE juga. Rel-16 akan selesai pada Desember 2020.

9.3 LTE-Advanced

3GPP Release-10 menjelaskan teknologi LTE-Advanced (True 4G) yang dirancang untuk memenuhi beragam kebutuhan bisnis dan konsumen. LTE-Advanced kompatibel ke belakang dan ke depan dengan LTE, yaitu, perangkat LTE beroperasi di jaringan LTE-Advanced dan perangkat LTEAdvanced beroperasi di jaringan LTE pra-Rilis-10. LTE-Advanced memenuhi dan/atau melampaui semua persyaratan IMT-Advanced (4G) ITU. Detail tentang LTE dapat ditemukan di^[2].

Antarmuka udara LTE-Advanced/LTE-Advanced Pro sangat mirip dengan LTE dan seperti LTE, terdiri dari unit E-UTRAN dan EPC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.2. E-UTRAN terdiri dari eNodeBs (eNBs), menyediakan E-UTRA user plane (PDCP/RLC/MAC/PHY⁴⁴) dan control plane (RRC-Radio Resource Control) terminasi protokol menuju UE (user terminal). eNB saling berhubungan satu sama lain melalui antarmuka X2. eNB juga terhubung melalui antarmuka S1 ke EPC, lebih khusus lagi ke MME melalui antarmuka S1-MME dan ke S-GW melalui antarmuka S1-U. Antarmuka S1 mendukung hubungan banyak ke banyak antara MME/S-GW dan eNB^[4].

Fungsionalitas baru utama yang diperkenalkan di LTE-Advanced adalah agregasi operator, transmisi multiantena lanjutan, CoMP, dan dukungan untuk node relai. Selain itu, beberapa peningkatan telah dilakukan untuk meningkatkan dan mendukung fitur HetNets, MBMS, dan SON^[4]. Bagian ini akan secara singkat memberikan beberapa detail tentang fitur-fitur utama LTE tertentu.

9.4 Agregasi Karir

Agregasi operator adalah fitur 4G atau LTE-Advanced dan disusun dalam 3GPP Rel-10 untuk memenuhi persyaratan kecepatan data puncak IMT-Advanced. Ini adalah teknik yang mahal untuk memenuhi kebutuhan penyediaan kapasitas yang lebih tinggi sambil memastikan kompatibilitas mundur dengan LTE (Rel-8/Rel-9). Carrier Aggregation (CA) dapat digunakan dalam mode FDD dan TDD dan juga dapat menggabungkan mode FDD dan TDD (yaitu, pembawa LTE/FDD dengan pembawa LTE/TDD)^[4,5,22–25].

3GPP telah merujuk setiap pembawa agregat sebagai pembawa komponen (CC) di mana jarak antara frekuensi pusat dari CC yang diagregasi secara berurutan adalah kelipatan 300 kHz. Spasi harus kompatibel dengan raster frekuensi 100 kHz⁴⁵ dari Rel-8 dan pada saat yang sama untuk mempertahankan ortogonalitas subcarrier dengan spasi 15 kHz. Jika kebutuhan muncul untuk skenario agregasi, jarak $n \times 300$ kHz dapat difasilitasi dengan memasukkan sejumlah kecil subcarrier yang tidak digunakan antara CC yang berdekatan^[26].

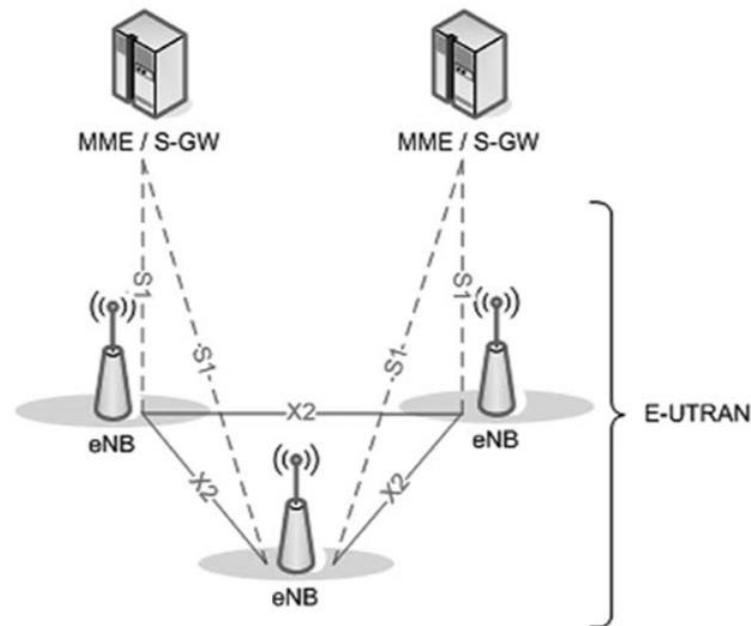
CC yang berdekatan, CC yang tidak berdekatan, dan CA simetris serta asimetris didukung. Skenario CA secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.3, yaitu^[26]:

- Intra-band contiguous: CC yang bersebelahan digabungkan bersama.
- Intra-band noncontiguous: CC yang dipisahkan oleh celah frekuensi dalam pita operasi yang sama disatukan.
- Inter-band: dalam hal ini, CC yang dipisahkan oleh celah frekuensi di band operasi yang berbeda disatukan.
- Antar-teknologi: agregasi dari satu atau lebih operator dari dua teknologi (seperti satu operator LTE dengan satu operator HSPA+). Jenis ini masih dalam penyelidikan.

Meskipun struktur keseluruhannya sama untuk ketiga kasus, kompleksitas RF bisa sangat berbeda.

⁴⁴ PDCP—Protokol Konvergensi Data Paket, RLC—Kontrol Tautan Radio, MAC—Kontrol Akses Sedang, PHY—Fisik.

⁴⁵ Raster frekuensi 100 kHz berarti bahwa frekuensi pusat pembawa harus merupakan kelipatan bilangan bulat dari 100 kHz.



Gambar 9.2 Arsitektur LTE-Advanced secara keseluruhan. (Dari 3GPP TS 36.300 (V11.3.0) 2012 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) dan Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Deskripsi Keseluruhan; Tahap 2. Spesifikasi Teknis (Rilis 11), Kelompok Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, September^[4].)

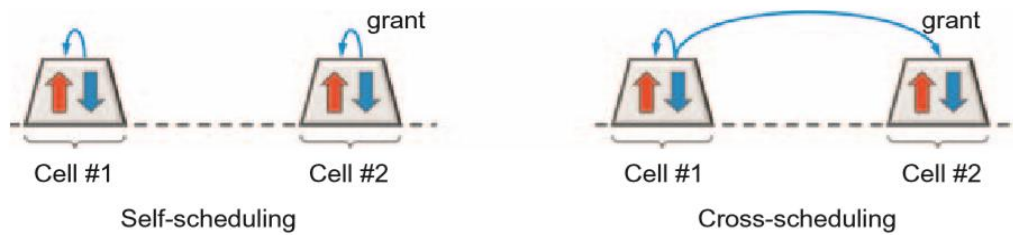
Hingga 16 operator, dengan bandwidth yang berbeda dan skema dupleks yang berbeda, dapat digabungkan sehingga memungkinkan bandwidth transmisi keseluruhan hingga 16.400 MHz 5,4 GHz, yang jauh melampaui alokasi spektrum tipikal.

Perangkat yang mampu mengagregasi pembawa dapat menerima atau mentransmisikan secara bersamaan pada beberapa pembawa komponen, sementara perangkat yang tidak mampu agregasi pembawa dapat mengakses salah satu pembawa komponen. Jadi, dalam banyak hal dan kecuali disebutkan lain. Perlu dicatat bahwa dalam kasus agregasi pembawa interband dari beberapa pembawa half-duplex (TDD), arah transmisi pada pembawa yang berbeda tidak harus sama. Ini menyiratkan bahwa perangkat TDD berkemampuan agregasi operator mungkin memerlukan filter dupleks, tidak seperti skenario tipikal untuk perangkat berkemampuan agregasi non-operator.

Dalam spesifikasi, agregasi pembawa dijelaskan menggunakan istilah sel, yaitu, perangkat berkemampuan agregasi pembawa mampu menerima dan mengirimkan dari/ke beberapa sel. Salah satu sel ini disebut sebagai sel primer (PCell). Ini adalah sel yang awalnya ditemukan dan dihubungkan oleh perangkat, setelah itu satu atau lebih sel sekunder (SCells) dapat dikonfigurasi setelah perangkat dalam mode terhubung. Sel-sel sekunder dapat dengan cepat diaktifkan atau ditipu untuk memenuhi variasi pola lalu lintas. Perangkat yang berbeda mungkin memiliki sel yang berbeda sebagai sel utamanya—yaitu, konfigurasi sel primer adalah khusus perangkat. Selanjutnya, jumlah pembawa (atau sel) tidak harus sama di uplink dan downlink. Faktanya, kasus tipikal adalah memiliki lebih banyak operator yang dikumpulkan di downlink daripada di uplink. Ada beberapa alasan untuk ini. Biasanya ada lebih banyak lalu lintas di downlink daripada di uplink. Selain itu, kompleksitas RF dari beberapa pembawa uplink yang aktif secara bersamaan biasanya lebih besar daripada kompleksitas terkait di downlink.

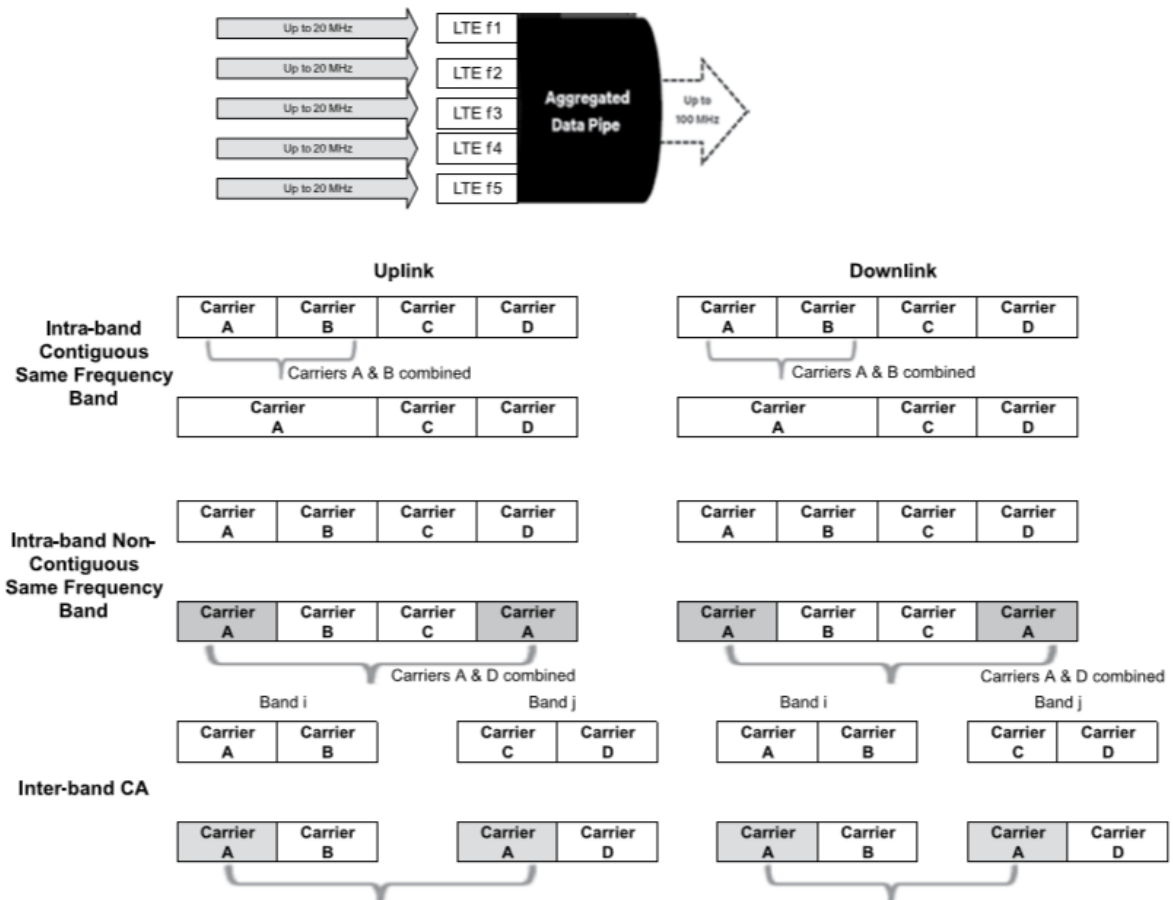
Penjadwalan hibah dan tugas penjadwalan dapat ditransmisikan pada sel yang sama dengan data terkait, yang dikenal sebagai penjadwalan mandiri, atau pada sel yang berbeda dari data

terkait, yang dikenal sebagai penjadwalan lintas operator, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9.2a. Dalam kebanyakan kasus, penjadwalan sendiri sudah cukup.



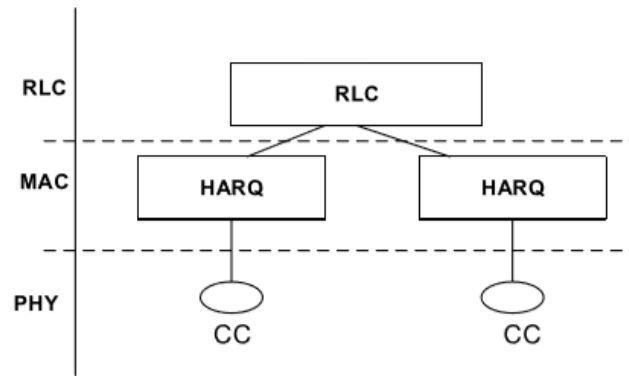
Gambar 9.2a Self-scheduling dan cross-scheduling

9.4.1 Teknis CA

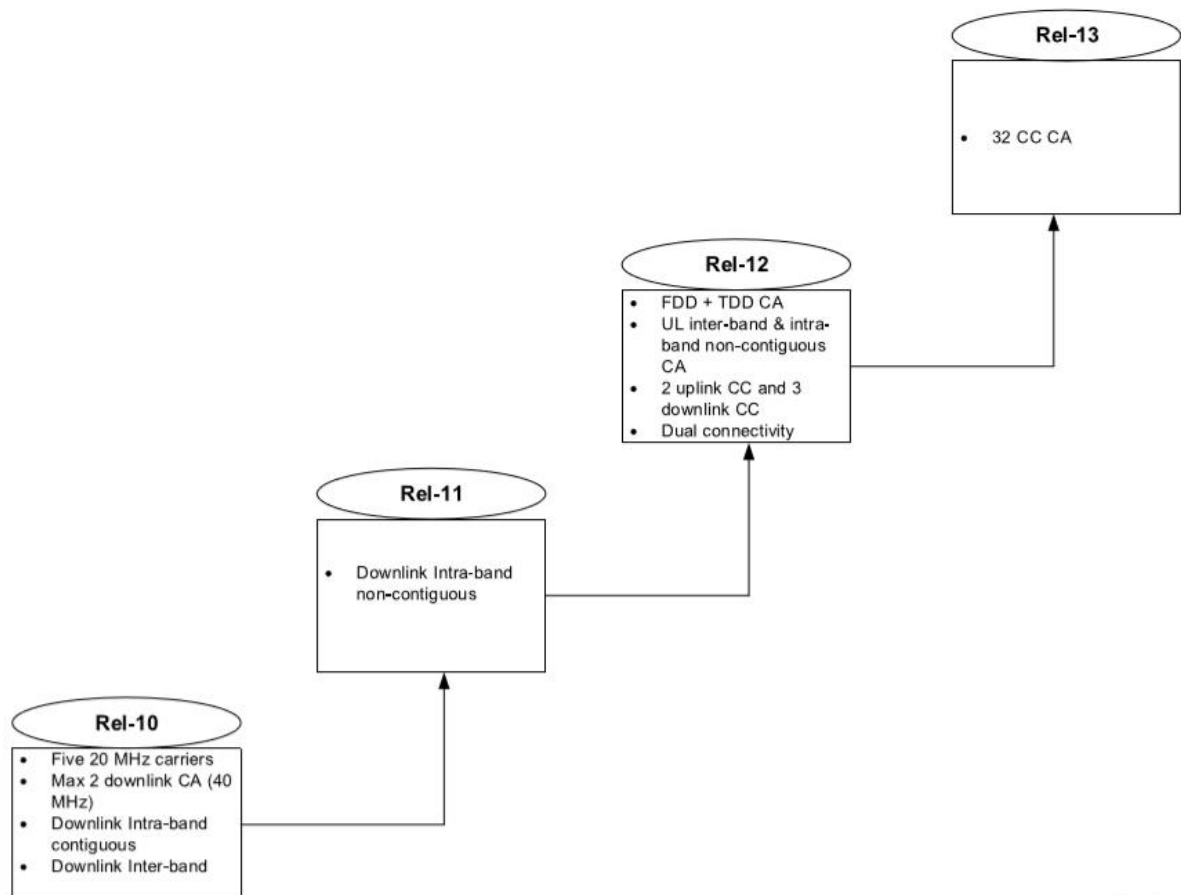


Gambar 9.3 Skenario agregasi operator.

Setiap CC menggunakan numerologi 3GPP Rel-8 dan menempati maksimum 110 blok sumber daya fisik. Selanjutnya, setiap CC sesuai dengan aliran data independen, satu blok transport independen, dan satu entitas HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) (Gambar 9.4). Ini memungkinkan penggunaan kembali fungsi Rel-8 secara maksimal (seperti RLC, PDCP, dll.) dan kinerja HARQ yang lebih baik karena adaptasi tautan berbasis komponen pembawa. Lapisan MAC bertindak sebagai entitas multiplexing untuk CC agregat saat diaktifkan atau dinonaktifkan oleh elemen kontrol MAC. Di sisi lain, setiap CC memiliki entitas lapisan fisiknya sendiri yang menyediakan pengkodean saluran, modulasi data, dan pemetaan sumber daya. Selanjutnya, arsitektur bidang kontrol LTE Rel-8 juga berlaku untuk CA^[26-28].



Gambar 9.4 Agregasi pembawa (pada lapisan protokol yang berbeda).



Gambar 9.5 Evolusi agregasi operator—fitur utama.

Tantangan desain utama di CA terletak pada sisi perangkat karena ukurannya dan daya yang terbatas. CA meningkatkan kompleksitas sirkuit RF, duplexer, power amplifier, diplexer, dan sebagainya. CA sensitif terhadap desensing yang terjadi ketika harmonik sinyal transmisi jatuh di pita penerima dari pita CA berpasangan. Harmonik menyebabkan penurunan sensitivitas penerima sehingga sinyal yang diinginkan tidak terdeteksi. CA juga memberikan tekanan pada duplexer untuk mempertahankan isolasi transmit-receive. Selain itu, untuk CA intra-band, power amplifier perlu mempertahankan linearitas yang tinggi dan untuk antar-band, sw ITC harus menyediakan hal yang sama^[29].

Memperluas lebih dari lima CA (melebihi 100 MHz) bukanlah tugas yang mudah karena solusi saat ini menempatkan semua transmisi uplink, termasuk umpan balik saluran (informasi

kontrol uplink), pada sel primer (yaitu, pembawa utama). Informasi kontrol uplink (UCI) ini dibawa oleh Saluran Kontrol Uplink Fisik (PUCCH) dan meningkat sebagian besar ketika ada lebih dari lima CC. Model ini mungkin tidak berkelanjutan dan dengan demikian lalu lintas uplink dan umpan balik saluran mungkin perlu didistribusikan melalui beberapa operator^[30].^[31] merangkum peningkatan yang disetujui/diusulkan dalam Rel-13 untuk mendukung CA di luar lima operator.

9.4.2 Evolusi CA

3GPP terus meningkatkan teknologi CA dengan setiap rilis mengikuti Rel-10. Pada saat yang sama, operator juga menambahkan CA di jaringan mereka untuk meningkatkan ROI. Evolusi CA seperti yang digambarkan pada Gambar 9.5 menunjukkan awal agregasi dari Rel-10 dengan lima CC hingga 32 operator di Rel-13. Rel-10 mendukung agregasi lima operator, tetapi sebagian besar penerapan terbatas pada dua CC intra-band yang berdekatan dengan bandwidth maksimum 40 MHz di downlink. Rel-11 mendukung lebih banyak konfigurasi CA dan intra-band noncontiguous sementara Rel-12 menetapkan agregasi pembawa antara pita frekuensi TDD dan FDD dan mendukung konektivitas ganda⁴⁶ [31,32].

Rel-13 mengidentifikasi dukungan untuk 32 CC dengan fokus awal pada penyesuaian downlink untuk mengatasi skenario penggunaan IMT-2020. Peningkatan lebih lanjut di CA diharapkan dalam rilis berikutnya. Di banyak jaringan komersial di seluruh dunia, dua hingga tiga CA telah dilaporkan. Misalnya, AT&T (American Telephone & Telegraph Company) telah mengumpulkan 700 MHz dengan Personal Communications Service (PCS) (1900 MHz) yaitu, band 2 dan 17, Nippon Telegraph and Telephone (melakukan komunikasi melalui jaringan seluler) telah mengumpulkan band 1 (2100 MHz) dengan pita 21 (1500 MHz), dan seterusnya. Di banyak negara, CA belum dimulai.

9.4.3 Relasi untuk Agregasi Karir

Meskipun SUL mungkin tampak mirip dengan agregasi pembawa uplink, ada beberapa perbedaan mendasar.

Dalam kasus agregasi pembawa, setiap pembawa uplink memiliki pembawa downlink terkaitnya sendiri. Secara formal, setiap pembawa downlink tersebut sesuai dengan selnya sendiri dan dengan demikian pembawa uplink yang berbeda dalam skenario agregasi pembawa sesuai dengan sel yang berbeda

Sebaliknya, dalam kasus SUL, pembawa uplink tambahan tidak memiliki pembawa downlink terkaitnya sendiri. Sebaliknya pembawa tambahan dan pembawa uplink konvensional berbagi pembawa downlink yang sama. Akibatnya, pembawa uplink tambahan tidak sesuai dengan selnya sendiri. Sebaliknya, dalam skenario SUL ada satu sel dengan satu pembawa downlink dan dua pembawa uplink

Perlu dicatat bahwa pada prinsipnya tidak ada yang mencegah kombinasi agregasi pembawa, misalnya, situasi dengan agregasi pembawa antara dua sel (dua pasangan pembawa DL/UL) di mana salah satu sel adalah sel SUL dengan pembawa uplink tambahan tambahan. Namun, saat ini tidak ada kombinasi pita yang ditentukan untuk kombinasi agregasi pembawa/SUL tersebut.

⁴⁶ Dengan konektivitas ganda, UE dapat menerima/mengirim data dari/ke beberapa eNB secara bersamaan.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

Pertanyaan yang relevan adalah, jika ada uplink tambahan, apakah ada yang namanya downlink tambahan? Jawabannya adalah ya—karena kerangka kerja agregasi operator memungkinkan jumlah operator downlink lebih besar daripada jumlah operator uplink, beberapa operator downlink dapat dilihat sebagai downlink tambahan. Salah satu skenario umum adalah menyebarkan pembawa downlink tambahan dalam spektrum yang tidak berpasangan dan menggabungkannya dengan pembawa dalam spektrum berpasangan untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan data. Tidak ada mekanisme tambahan di luar agregasi pembawa yang diperlukan dan karenanya istilah downlink tambahan terutama digunakan dari sudut pandang spektrum.



Gambar 9.5b Carrier aggregation vs supplementary uplink.

9.4.4 Pengontrolan Sinyal

Dalam kasus operasi uplink tambahan, perangkat dikonfigurasi secara eksplisit (melalui pensinyalan RRC) untuk mengirimkan PUCCH pada pembawa SUL atau pada pembawa konvensional (non-SUL).

Dalam hal transmisi PUSCH, perangkat dapat dikonfigurasi untuk mengirimkan PUSCH pada operator yang sama dengan PUCCH. Atau, perangkat yang dikonfigurasi untuk operasi SUL dapat dikonfigurasi untuk pemilihan dinamis antara pembawa SUL atau pembawa non-SUL. Dalam kasus terakhir, hibah penjadwalan uplink akan menyertakan indikator SUL/non-SUL yang menunjukkan pada operator apa transmisi PUSCH terjadwal harus dilakukan. Jadi, dalam kasus uplink tambahan, perangkat tidak akan pernah mengirimkan PUSCH secara bersamaan baik pada pembawa SUL maupun pada pembawa non-SUL.

Jika perangkat mengirimkan UCI pada PUCCH selama interval waktu yang tumpang tindih dengan transmisi PUSCH terjadwal pada operator yang sama, perangkat tersebut malah menggandakan UCI ke PUSCH. Aturan yang sama berlaku untuk skenario SUL, yaitu, tidak ada transmisi PUSCH dan PUCCH secara simultan bahkan pada operator yang berbeda. Sebaliknya, jika perangkat mentransmisikan UCI pada PUCCH satu pembawa (SUL atau non-SUL) selama interval waktu yang tumpang tindih dengan transmisi PUSCH terjadwal pada salah satu pembawa (SUL atau non-SUL), perangkat malah menggandakan UCI ke PUSCH.

Alternatif untuk uplink tambahan adalah mengandalkan konektivitas ganda dengan LTE pada frekuensi yang lebih rendah dan NR pada frekuensi yang lebih tinggi. Transmisi data uplink dalam hal ini akan ditangani oleh operator LTE dengan, dari perspektif kecepatan data, manfaatnya akan serupa dengan uplink tambahan. Namun, dalam kasus ini, pensinyalan kontrol uplink yang terkait dengan transmisi downlink NR harus ditangani oleh pembawa uplink NR frekuensi tinggi karena setiap pasangan pembawa harus mandiri dalam hal pensinyalan kontrol L1/L2. Menggunakan uplink tambahan menghindari kelemahan ini dan memungkinkan pensinyalan kontrol L1/L2 untuk mengeksploitasi uplink frekuensi rendah. Kemungkinan lain adalah menggunakan agregasi pembawa, tetapi dalam kasus ini pembawa downlink frekuensi rendah harus dikonfigurasi juga, sesuatu yang mungkin bermasalah dalam kasus koeksistensi LTE.

9.5 Perbedaan Antena

Selama dekade terakhir, operator mulai menguji dan menerapkan keragaman antena baik di stasiun pangkalan dan perangkat. Salah satu bukti pertama dari pengujian konsep untuk memiliki lebih dari satu antena penerima di ponsel menunjukkan keuntungan 3 dB dalam kapasitas downlink jaringan CDMA2000^[33]. Penelitian berlanjut dan keragaman antena telah menjadi fitur penting dari EVDO, HSPA, LTE, LTE-Advanced, dan LTE-Advanced Pro untuk meningkatkan kinerja baik di uplink dan downlink.

Antena pintar melibatkan penggunaan beberapa antena baik di stasiun pangkalan, perangkat, atau keduanya. Bentuk yang berlaku adalah MIMO yang melibatkan lebih dari satu antena di kedua ujungnya. A 2×2 MIMO, yang mengacu pada dua antena transmisi di stasiun pangkalan dan dua antena penerima di perangkat, biasanya digunakan dalam jaringan LTE. Antena pintar juga dapat mencakup beamforming yang memungkinkan beberapa antena membentuk sinar untuk meningkatkan penguatan untuk penerima tertentu dan/atau meningkatkan kinerja celledge dengan menekan sinyal interferensi tertentu.

Berikut ini adalah istilah kunci yang digunakan untuk mendefinisikan transmisi multi antena dalam sistem LTE^[34].

- **Codeword:** sebuah codeword mewakili data pengguna sebelum diformat untuk transmisi. Tergantung pada kondisi radio dan mode transmisi, satu atau dua kata sandi dapat digunakan. Misalnya, pada downlink SU-MIMO, dua codeword dikirim ke satu perangkat sedangkan dengan downlink MU-MIMO, setiap codeword ditujukan hanya untuk satu perangkat⁴⁷.
- **Layer (Stream):** ini adalah aliran data yang dikirim ke kedua arah. Delapan lapisan didukung di downlink sedangkan ada empat di uplink untuk multiplexing spasial di 3GPP Rel-10. Jumlah lapisan selalu kurang dari atau sama dengan jumlah antena.
- **Precoding:** Ini memodifikasi aliran data sebelum transmisi untuk alasan seperti keragaman, beamforming, dan multiplexing spasial.
- **Peringkat:** Ini mengacu pada berapa banyak jalur sinyal independen yang dapat dikenali oleh penerima. Misalnya, sistem MIMO 4×2 memiliki peringkat 2 karena sinyal penerima hanya dapat menerima dua aliran data.

9.5.1 MIMO di LTE

MIMO diperkenalkan di LTE (3GPP Rel-8) untuk meningkatkan kecepatan data melalui transmisi dua (atau lebih) aliran data yang berbeda pada dua (atau lebih) antena yang berbeda menggunakan sumber daya yang sama dalam frekuensi dan waktu, hanya dipisahkan melalui penggunaan sinyal referensi yang berbeda untuk diterima oleh dua atau lebih antena. Rel-8 hanya mendukung MIMO pengguna tunggal di downlink sedangkan Rel-10 menyertakan MIMO multipengguna. LTE-Advanced (Rel-10) mendukung 8×8 MIMO di downlink dan 4×4 di uplink^[22]. LTE memungkinkan beberapa jenis Mode Transmisi (TM) antena yang digunakan sesuai dengan kondisi radio. Mode transmisi ini berbeda dalam hal jumlah lapisan (jalur/aliran), port antena, jenis sinyal referensi, dan jenis prakode. Port antena tidak sesuai dengan antena fisik, melainkan entitas logis yang dibedakan oleh sinyal referensinya. Stasiun

⁴⁷ Dalam SU-MIMO (Single User MIMO), bandwidth penuh dari base station ditetapkan ke satu UE sedangkan MU-MIMO (Multi-user MIMO) memungkinkan banyak pengguna untuk secara bersamaan mengakses saluran yang sama dengan memberikan derajat kebebasan spasial.

pangkalan dapat menetapkan/memetakan port antena ke antena pemancar fisik sesuai kebutuhan.

Di downlink, ada sembilan TM yang berbeda, di mana TM 1–7 diperkenalkan di Rel-8, dan TM 8–10 masing-masing didirikan di Rel-9, Rel-10, dan Rel-11. Pada uplink, ditentukan dua mode transmisi, yaitu TM-1 dan TM-2. 8×8 MIMO di downlink didukung melalui TM-9 sedangkan 4×4 MIMO di uplink dibantu oleh TM-2 yang dapat mencapai efisiensi spektral puncak masing-masing 30 bps/Hz dan 15 bps/Hz. Jadi, secara ringkas, Rel-8 mendefinisikan tujuh mode transmisi dan Rel-9 menambahkan TM-8 (dual layer beamforming). Rel-10 memperluas mode lapisan ganda TM8 ke TM9 hingga delapan lapisan sedangkan Rel-11 menambahkan transmisi 8-lapisan TM10 dengan dukungan untuk CoMP.

Detail untuk antena pintar LTE dapat ditemukan di^[5,35–38].

9.5.2 Mengembangkan Kemampuan LTE ke 5G

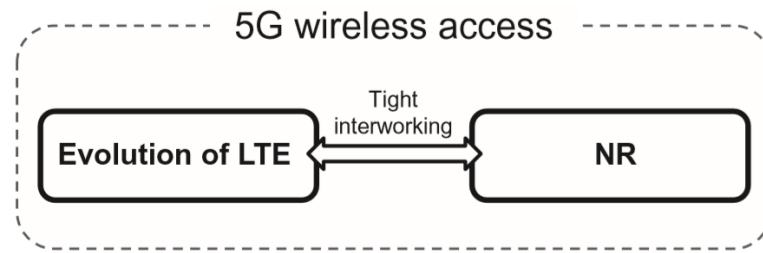
Rilis pertama dari spesifikasi teknis LTE diperkenalkan pada tahun 2009. Sejak itu, LTE telah melalui beberapa langkah evolusi yang memberikan peningkatan kinerja dan kemampuan yang diperluas. Ini termasuk fitur untuk broadband seluler yang ditingkatkan, termasuk sarana untuk kecepatan data pengguna akhir yang dapat dicapai lebih tinggi serta efisiensi spektrum yang lebih tinggi. Namun, itu juga termasuk langkah-langkah penting untuk memperluas rangkaian kasus penggunaan yang LTE dapat diterapkan. Terutama, ada langkah-langkah penting untuk mengaktifkan perangkat yang benar-benar murah dengan masa pakai baterai yang sangat lama, sejalan dengan karakteristik aplikasi MTC yang masif. Baru-baru ini juga ada beberapa langkah signifikan yang diambil untuk mengurangi latensi antarmuka udara LTE.

Dengan langkah-langkah evolusi yang telah diselesaikan, sedang berlangsung, dan di masa depan ini, evolusi LTE akan dapat mendukung berbagai kasus penggunaan yang diharapkan untuk 5G. Mempertimbangkan pandangan yang lebih umum bahwa 5G bukanlah teknologi akses radio khusus tetapi lebih ditentukan oleh kasus penggunaan yang akan didukung, evolusi LTE dengan demikian harus dilihat sebagai bagian penting dari solusi akses radio 5G secara keseluruhan. Meskipun bukan menjadi tujuan utama buku ini, gambaran umum tentang keadaan evolusi LTE saat ini

9.5.3 RN-Teknologi Akses Radio Baru

Meskipun LTE merupakan teknologi yang sangat mumpuni, ada persyaratan yang tidak mungkin dipenuhi dengan LTE atau evolusinya. Selanjutnya, perkembangan teknologi selama lebih dari 10 tahun yang telah berlalu sejak pekerjaan LTE dimulai memungkinkan solusi teknis yang lebih maju. Untuk memenuhi persyaratan ini dan untuk memanfaatkan potensi teknologi baru, 3GPP memprakarsai pengembangan teknologi akses radio baru yang dikenal sebagai NR (Radio Baru). Lokakarya menetapkan ruang lingkup diadakan pada musim gugur 2015 dan pekerjaan teknis dimulai pada musim semi 2016. Versi pertama spesifikasi NR tersedia pada akhir 2017 untuk memenuhi persyaratan komersial pada penerapan awal 5G yang sudah ada pada 2018.

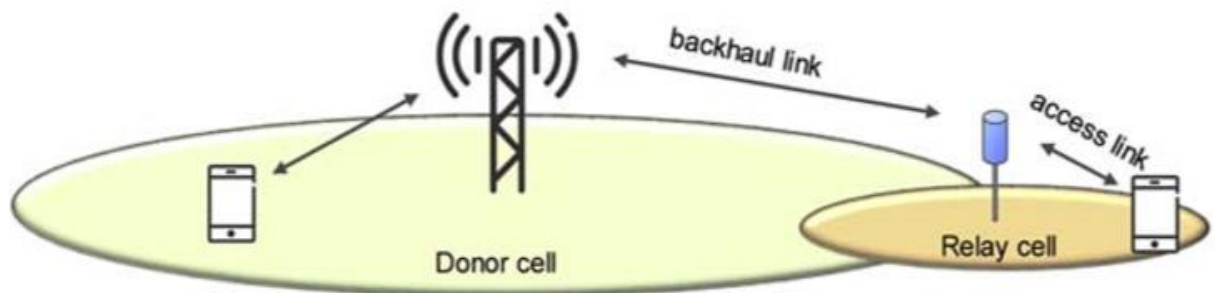
RN menggunakan kembali banyak struktur dan fitur LTE. Namun, menjadi teknologi akses radio baru berarti bahwa NR, tidak seperti evolusi LTE, tidak dibatasi oleh kebutuhan untuk mempertahankan kompatibilitas ke belakang. Persyaratan pada NR juga lebih luas daripada apa yang terjadi pada LTE, memotivasi serangkaian solusi teknis yang sebagian berbeda.



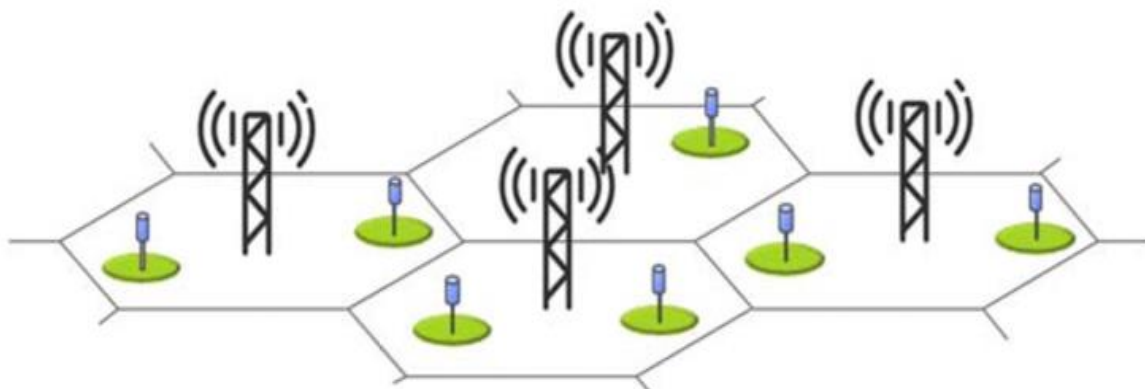
Gambar 9.5a Evolusi LTE dan NR yang menyediakan solusi akses radio 5G

9.6 Konsep Relai

Ide menyampaikan atau komunikasi kooperatif dapat ditelusuri kembali ke tahun 1970-an^[39]. Penelitian terbaru tentang relaying menunjukkan manfaatnya untuk komunikasi nirkabel. Konsep relai diperkenalkan di 3GPP Rel-10 untuk meningkatkan cakupan, throughput tepi sel, penetrasi dalam gedung, dan untuk mengurangi lubang cakupan. Dapat juga dikatakan bahwa relai membawa kemungkinan heterogenitas ke jaringan LTE dan 4G. Relay menggunakan spektrum yang telah ditetapkan, memberikan operator sarana hemat biaya, terutama dalam penerapan awal ketika penggunaan relatif rendah dan tanpa biaya backhaul untuk meningkatkan cakupan dan throughput^[22-26,40].



Gambar 9.6a Contoh relai.



Gambar 9.6b Contoh penerapan heterogen dengan node berdaya rendah di dalam sel makro. Dalam konteks LTE, relai menyiratkan bahwa perangkat berkomunikasi dengan jaringan melalui node relai yang terhubung secara nirkabel ke sel donor menggunakan teknologi antarmuka radio LTE. Dari sudut pandang perangkat, node relai akan muncul sebagai sel biasa. Ini memiliki keuntungan penting dalam menyederhanakan implementasi perangkat dan membuat node relai kompatibel ke belakang—yaitu, perangkat LTE release-8/9 juga dapat mengakses jaringan melalui node relai. Intinya, relai adalah stasiun pangkalan berdaya rendah yang terhubung secara nirkabel ke bagian jaringan yang tersisa.

9.6.1 Penyebaran Heterogen

Penyebaran heterogen mengacu pada penyebaran dengan campuran node jaringan dengan daya pancar yang berbeda dan cakupan geografis yang tumpang tindih (Gbr. 9.6b). Contoh tipikal adalah simpul pico yang ditempatkan di dalam area cakupan sel makro. Meskipun penerapan tersebut telah didukung dalam rilis 8, rilis 10 memperkenalkan cara baru untuk menangani interferensi antar lapisan yang mungkin terjadi antara, misalnya, lapisan pico dan makro yang dilapis. Teknik koordinasi multipoint yang diperkenalkan dalam rilis 11 lebih jauh memperluas seperangkat alat untuk mendukung penyebaran heterogen. Penyempurnaan untuk meningkatkan mobilitas antara lapisan pico dan lapisan makro diperkenalkan pada rilis 12.

9.6.2 Rancangan Arsitektur

Arsitektur yang melibatkan relaying agak sederhana. Sesuai 3GPP TR 36.912^[26], relai berlangsung melalui node relai (RN) yang kemungkinan terhubung secara nirkabel ke sel donor (sektor) eNB donor melalui antarmuka Un. NR juga terhubung secara nirkabel dengan UE melalui antarmuka Uu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.6. Pada antarmuka Uu, semua protokol access stratum control plane (RRC) dan user plane (PDCP, RLC, dan MAC) diakhiri di RN. Pada antarmuka Un, bidang pengguna didasarkan pada protokol standar (PDCP, RLC, MAC) sedangkan bidang kontrol pada Un menggunakan RRC (untuk NR dalam perannya sebagai UE).

RN dapat dianggap sebagai node berdaya rendah di atas stasiun pangkalan makro konvensional dalam sistem seluler. UE dapat berkomunikasi langsung dengan eNB atau dengan bantuan RN. UE di tepi sel lebih baik dilayani karena kerjasama ini, sehingga kapasitas dapat ditingkatkan^[41]. Kerjasama terjadi ketika relay membantu transmisi dari sumber ke tujuan dengan mengirimkan salinan yang berbeda dari sinyal yang sama dari lokasi yang berbeda. Ini memungkinkan tujuan untuk mendapatkan versi sinyal yang memudar secara independen yang dapat digabungkan untuk mendapatkan sinyal tanpa kesalahan.

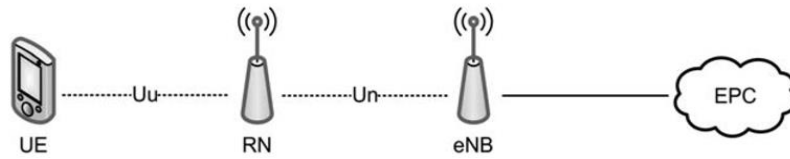
9.6.3 Jenis Relay

3GPP telah mendefinisikan dua jenis relay di LTE-Advanced, yaitu Tipe 1 dan Tipe 1a RNs. NR Tipe 1 dapat membantu UE yang terletak jauh dari eNB untuk mengakses eNB dengan memiliki ID Sel Fisik (PCI) terpisah, mentransmisikan sinyal referensi umum mereka sendiri dan informasi kontrol. Tujuan utama relai Tipe 1 adalah untuk memperluas jangkauan. Tipe 1 NR adalah NR in-band yang berarti bahwa tautan eNB-RN berbagi frekuensi pembawa yang sama dengan tautan RN-UE. Hal ini dapat mengakibatkan interferensi diri di NR karena Uu dan Un mentransmisikan pada waktu yang sama pada frekuensi yang sama. Tipe 1a pada dasarnya memiliki fitur yang sama dengan Tipe 1 kecuali beroperasi outband. Pada NR yang beroperasi outband, link eNB-RN tidak menggunakan frekuensi pembawa yang sama dengan link RN-UE^[26].

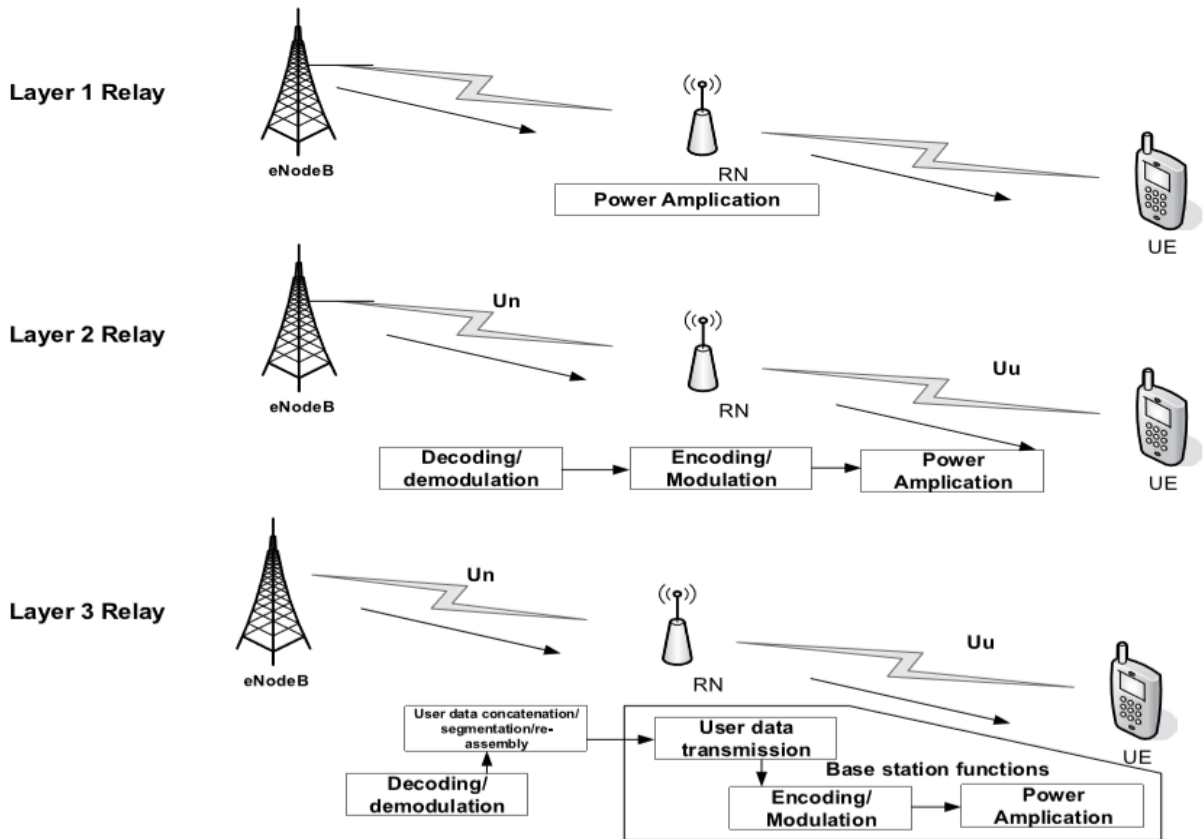
Selama standarisasi, jenis relay berikut diidentifikasi dalam arsitektur protokol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.7^[24,42].

Layer 1 Relay: Mirip dengan repeater, ia menerima sinyal dari sumber (BS atau MS), menguatkannya, dan mengirimkannya ke tujuan (UE atau eNB). Relai lapisan 1 (L1) sederhana dan mudah diimplementasikan melalui amplifikasi RF dengan latensi yang relatif rendah. Namun, ini memperkuat interferensi dan kebisingan antar sel bersama dengan komponen

sinyal yang diinginkan. Amplifikasi berbahaya ini mengurangi SIRN (Signal to Interference plus Noise Power Ratio) dan kinerja jaringan. Relay L1 bisa disebut rele amplifyand-forward.



Gambar 9.6 Relai. (Dari 3GPP TR 36.912 (V14.0.0) Studi Kelayakan 2014 untuk Kemajuan Lebih Lanjut untuk E-UTRA (LTE-Advanced) Laporan Teknis (Rilis 11), Grup Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, Maret^[26].)



Gambar 9.7 Jenis relai. (Dari Iwamura, M., Takahashi, H. dan Nagata, S. Jurnal Teknis Docomo NTT 2010, 12(2), 29–36^[42].)

Layer 2 Relay: Layer 2 (L2) relay adalah jenis relay decode dan forward di mana sinyal RF yang diterima dari base station/eNB pada downlink didemodulasi dan didekodekan dan kemudian dikodekan dan dimodulasi lagi sebelum dikirim ke UE. Pemrosesan sinyal radio ini membantu mengatasi interferensi dan kebisingan antar sel seperti yang terlihat pada relai L1. Namun, relai L2 menyebabkan penundaan pada pemrosesan sinyal radio terkait.

Layer 3 Relay: Layer 3 (L3) relay atau self-backhauling memiliki dampak yang lebih kecil pada desain eNB tetapi memperkenalkan lebih banyak overhead dibandingkan dengan relay L2. Selain fungsi L2, relai L3 juga melakukan penyandian dan penggabungan/segmentasi/re-assembly data pengguna. Mirip dengan L2 relay, meningkatkan throughput dengan menggabungkan fungsi yang sama sebagai base station/eNB. Relai L3 juga menampilkan PCI unik pada lapisan fisik yang berbeda dari stasiun pangkalan. PCI membantu UE untuk mengidentifikasi bahwa sel yang disediakan oleh relai berbeda dari sel yang disediakan oleh stasiun pangkalan/eNB.

9.6.4 Fungsionalitas Relaying

Sumber daya telah dipartisi untuk pengoperasian RN. Untuk relai inband, beberapa sumber daya frekuensi waktu disisihkan untuk tautan backhaul (U_n) dan tidak dapat digunakan untuk tautan akses (U_u).

3GPP^[26,43] mendefinisikan prinsip umum berikut untuk partisi sumber daya pada node relay:

Prinsip umum untuk partisi sumber daya di node relay:

Partisi sumber daya di RN

Di downlink: $eNB \rightarrow NR$ dan $NR \rightarrow$ Tautan UE adalah pembagian waktu yang digandakan dalam frekuensi pembawa tunggal dan hanya satu yang aktif setiap saat

Dalam uplink: $UE \rightarrow NR$ dan $NR \rightarrow$ tautan eNB adalah pembagian waktu yang digandakan dalam satu frekuensi pembawa dan hanya satu yang aktif setiap saat

Multiplexing link backhaul⁴⁸

Transmisi $eNB \rightarrow NR$ dilakukan di pita frekuensi downlink, sedangkan transmisi $NR \rightarrow eNB$ dilakukan di pita frekuensi uplink untuk sistem FDD.

$eNB \rightarrow NR$ dan transmisi dilakukan di subframe downlink eNB dan NR , di mana $NR \rightarrow eNB$, sedangkan transmisi eNB dilakukan di subframe uplink eNB dan NR untuk sistem TDD.

Untuk pengoperasian simultan tautan $NR \rightarrow eNB$ (U_n) dan $NR \rightarrow UE$ (U_u), pemisahan antena diperlukan untuk menghindari interferensi. NR dapat memilih sinar dan/atau frekuensi antarmuka udara yang paling tepat dengan salah satu metode berikut:

- RN dapat terdiri dari perangkat pemrosesan sinyal untuk menentukan satu atau lebih atribut sinyal nirkabel yang diterima dari eNB dan unit memori untuk menyimpan daftar referensi yang mencakup satu atau lebih bandwidth frekuensi yang disukai untuk diterima, diperkuat, dan ditransmisikan. NR selanjutnya terdiri dari pengontrol yang digabungkan dengan perangkat pemrosesan sinyal untuk membandingkan satu atau lebih atribut sinyal nirkabel dari eNB dengan daftar referensi, di mana pengontrol memilih satu set aktif pertama dari satu atau lebih bandwidth frekuensi dari pilihan bandwidth frekuensi berdasarkan perbandingan. NR selanjutnya dapat mencakup filter penerimaan pertama, di mana filter penerimaan pertama, sebagai respons terhadap sinyal kontrol dari pengontrol, menyaring sinyal dan berkomunikasi dengan filter penerimaan pertama yang memiliki frekuensi di luar rangkaian aktif pertama dari bandwidth frekuensi.^[44]
- RN terdiri dari perangkat pemrosesan sinyal untuk menentukan satu atau lebih atribut sinyal nirkabel yang diterima dari UE dan unit memori untuk menyimpan daftar referensi yang mencakup satu atau lebih bandwidth frekuensi yang disukai untuk diulang. NR juga terdiri dari pengontrol yang digabungkan dengan perangkat pemrosesan sinyal untuk membandingkan satu atau lebih atribut sinyal nirkabel dengan daftar referensi, dimana pengontrol memilih satu set aktif pertama dari satu atau lebih bandwidth frekuensi dari bandwidth frekuensi yang disukai berdasarkan pada perbandingan. NR selanjutnya terdiri dari filter penerimaan pertama yang digabungkan dengan pengontrol, di mana filter penerimaan pertama, responsif

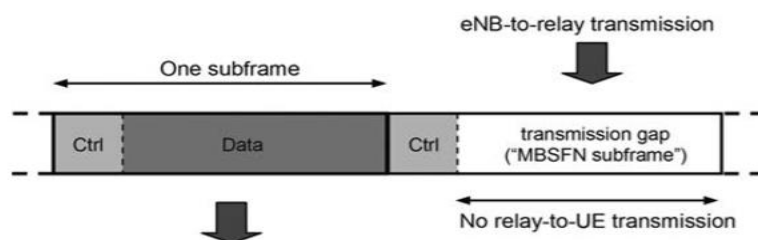
⁴⁸ FDD: Panjang bingkai LTE 10 ms, dibagi menjadi 20 slot individu. Setiap subframe terdiri dari 2 slot. TDD: Panjang frame LTE 10 ms, yang terdiri dari dua setengah frame, masing-masing sepanjang 5 ms. Subframe memiliki panjang 1 ms.

terhadap sinyal kontrol dari pengontrol, menyaring sinyal dan berkomunikasi dengan filter penerimaan pertama, memiliki frekuensi di luar set aktif pertama dari bandwidth frekuensi^[45].

- RN dapat mencakup antena donor, antena jangkauan, modem stasiun bergerak, prosesor, dan penyimpanan data. Antena donor akan menerima sejumlah sinar antarmuka udara pada tautan bawah dari eNB. Antena cakupan akan melewati setiap berkas downlink yang diterima ke UE yang dilayani oleh RN. Selanjutnya antena donor akan melewatkan setiap downlink airinterface beam ke MSM (mobile station modem) dimana MSM akan menerapkan rake receiver untuk mengidentifikasi karakteristik sinyal dari downlink dari setiap beam yang diterima, dan prosesor akan merekam dalam penyimpanan data karakteristik sinyal yang sesuai untuk setiap balok. Mengingat data ini, NR akan memilih berkas antarmuka udara dengan karakteristik sinyal yang paling disukai dan hanya akan membuat berkas ini tetap aktif untuk komunikasi uplink^[46].

Metode lain untuk menghindari interferensi adalah dengan mengoperasikan relai sedemikian rupa sehingga relai tidak melakukan transmisi ke terminal ketika seharusnya menerima data dari eNodeB donor dengan membuat celah pada transmisi NR → UE. Kesenjangan ini, selama UE (termasuk UE Rel-8) tidak akan menerima transmisi relai apa pun, dapat dibuat dengan mengonfigurasi subframe MBSFN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.8. Transmisi NR → eNB dapat dilakukan dengan melarang transmisi UE → NR di beberapa subframe^[26,43].

Relai dapat menjadi bagian dari sel donor atau sel kontrolnya sendiri. Dalam kasus di mana relai adalah bagian dari sel donor, relai tidak memiliki identitas selnya sendiri. Sampai batas tertentu, beberapa bagian dari RRM (Radio Resource Management) dikendalikan oleh eNodeB tempat sel donor berada, sementara bagian dari RRM mungkin terletak di relai. Pengulang pintar, relai dekode-dan-maju, dan berbagai jenis relai Layer 2 adalah contoh dari jenis relai ini. Dalam kasus di mana relai mengendalikan selnya sendiri, relai mengontrol satu atau beberapa sel dan PCI unik disediakan untuk masing-masing sel yang dikendalikan oleh relai. Mekanisme RRM yang sama tersedia di relai dan sel yang dikendalikan oleh eNodeB dan dari perspektif UE tidak ada perbedaan dalam mengakses keduanya. Relay layer 3, node relay tipe 1, node relay tipe 1a, dan seterusnya, gunakan tipe relay ini^[42,43,47].



Gambar 9.8 Contoh komunikasi relai-ke-UE menggunakan subframe normal (kiri) dan komunikasi eNodeB-ke-relai menggunakan subframe MBSFN (kanan). (Dari 3GPP TR 36.912 (V14.0.0) Studi Kelayakan 2014 untuk Kemajuan Lebih Lanjut untuk E-UTRA (LTE-Advanced) Laporan Teknis (Rilis 11), Grup Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, Maret^[26].)

9.6.5 Tantangan/Solusi

Salah satu tantangan utama adalah memilih dan memasangkan NR dan UE terdekat untuk mencapai penguatan relai/kooperatif. Pemilihan mitra kerja sama merupakan elemen kunci

untuk keberhasilan strategi estafet^[47]. Jadi, untuk kerja arsitektur relai yang efisien, protokol transmisi relai yang sesuai dan metode pemilihan relai diperlukan^[48-51].

Protokol relai dimulai oleh sumber atau tujuan di mana relai dapat dipilih sebelum transmisi data. Protokol semacam itu memerlukan pesan kontrol/jabat tangan tambahan yang dapat mengakibatkan overhead tambahan. Pemilihan relai yang dimaksudkan untuk mengidentifikasi relai yang paling cocok untuk membantu transmisi juga merupakan tugas yang sulit. Pemilihan relai dapat dilakukan baik oleh sumber atau tujuan dan kedua pendekatan tersebut menimbulkan beberapa overhead.

9.7 Peningkatan SON

SON adalah konsep otomatisasi yang dirancang untuk membuat perencanaan, konfigurasi, pengelolaan, pengoptimalan, dan pemulihan jaringan akses radio seluler menjadi lebih sederhana dan lebih cepat. SON meningkatkan kualitas jaringan dan mengurangi OPEX.

SON diperkenalkan di Rel-8 untuk memperluas cakupan LTE di jaringan 2G/3G yang ada. Karena cakupan LTE menjadi di mana-mana seperti 2G/3G, yang mengharuskan operator menghabiskan lebih banyak sumber daya untuk mengoptimalkan kapasitas dan cakupan di lingkungan yang heterogen dengan beberapa operator per teknologi akses radio, beberapa peningkatan telah dilakukan pada SON. Beberapa peningkatan SON tersebut adalah sebagai berikut:

Solusi SON dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu self-configuration (Rel-8), selfoptimization (Rel-9), dan self-healing (Rel-10). Fungsionalitas konfigurasi mandiri membantu eNB untuk mengonfigurasi PCI, frekuensi transmisi, dan daya yang mengarah pada perencanaan dan peluncuran sel yang lebih cepat. Pengoptimalan mandiri berfokus pada peningkatan cakupan, kapasitas, serah terima, dan interferensi melalui fungsi seperti penyeimbangan beban mobilitas, pengoptimalan ketahanan mobilitas, dan pengoptimalan RACH (Random Access Channel). Penyembuhan diri mencakup fitur-fitur seperti deteksi otomatis dan penghapusan kegagalan serta penyesuaian parameter secara otomatis. SON dapat membantu dengan ^[4,23,26,52,53] cara berikut.

- **Cakupan dan Optimalisasi Kapasitas:** Pengimbangan kapasitas dan cakupan adalah masalah yang kompleks tanpa jawaban yang mudah. Performa jaringan (cakupan/kapasitas/kualitas) dapat ditingkatkan melalui pengukuran yang diperoleh melalui pengujian drive. Berdasarkan pengukuran ini, jaringan dapat mengoptimalkan kinerja dengan memperdagangkan kapasitas dan jangkauan.
- **Optimalisasi Kekokohan Mobilitas:** Ini adalah solusi untuk deteksi otomatis dan koreksi kesalahan, terutama selama serah terima. Fokusnya adalah pada optimalisasi parameter terkait mobilitas untuk mengurangi jumlah kegagalan tautan radio terkait serah terima. Serah terima yang terlambat atau dini atau serah terima ke sel yang salah dapat menyebabkan kegagalan tautan radio.
- **Mobility Load Balancing:** Fitur ini memungkinkan transfer beban dari sel yang mengalami kemacetan ke sel yang memiliki sumber daya cadangan. Ini mengotorisasi pembagian laporan beban antara eNB untuk kelancaran transfer lalu lintas dan meminimalkan jumlah serah terima.
- **Penghematan Energi:** Beberapa sel dapat dimatikan saat kapasitas tidak diperlukan untuk menghemat energi. Sel-sel dapat diaktifkan kembali sesuai kebutuhan oleh sel-sel yang tetap hidup untuk menyediakan cakupan. Hal ini dapat dilakukan dengan memberikan panggilan bangun untuk yang tidur.

- **Minimization of Drive Tests (MDT):** UE dapat digunakan untuk memberikan informasi yang sama yang dikumpulkan selama pengujian drive. Ini mengurangi biaya dan sumber daya yang terkait dengan pengujian drive. UE juga dapat menyediakan data dari lingkungan dalam ruangan yang merupakan keuntungan besar. Rel-10 memulai pekerjaan dalam mendefinisikan solusi otomatis, termasuk melibatkan UE di lapangan untuk mengurangi biaya operator untuk penyebaran dan pengoperasian jaringan. Rel-10 menetapkan bahwa data MDT yang dilaporkan dari UE dan jaringan radio dapat digunakan untuk memantau dan mendeteksi masalah jangkauan dalam jaringan termasuk lubang jangkauan, jangkauan yang lemah, polusi pilot, kekurangan kapasitas, dan sebagainya.^[54]

9.8 eMBMS

MBMS adalah layanan penyiaran, merupakan sarana untuk mengirimkan TV seluler ke banyak pemirsa melalui jaringan 3GPP, dan diperkenalkan di 3GPP Rel-6. Dalam Rel-7, multicast/broadcast, fungsi MBSFN disertakan untuk optimalisasi kemampuan MBMS. Di MBSFN, bentuk gelombang umum yang disinkronkan dengan waktu ditransmisikan dari beberapa sel untuk durasi tertentu melalui pembawa khusus. Transmisi MBSFN dari beberapa sel dalam area MBSFN dilihat sebagai transmisi tunggal oleh UE. Ketika transmisi dikirimkan melalui jaringan LTE, layanan MBMS disebut sebagai eMBMS (Enhanced MBMS).

Rel-10 menambahkan fungsi penghitungan MBMS untuk memungkinkan penghitungan jumlah pengguna mode terhubung⁴⁹ yang menerima layanan MBMS tertentu atau tertarik untuk menerima layanan MBMS tertentu. Fungsi ini dikendalikan oleh Multi-cell/multicast Coordination Entity (MCE) dan memungkinkan MCE untuk mengaktifkan atau menonaktifkan transmisi MBSFN^[21,23].

Di Rel-10, prioritas layanan MBMS yang berbeda melalui MCE diaktifkan karena MCE bertanggung jawab untuk memutuskan alokasi sumber daya radio untuk transmisi MBSFN. Dengan cara ini, MCE dapat mendahului sumber daya radio yang digunakan oleh layanan MBMS yang sedang berlangsung di area MBSFN menurut Prioritas Alokasi dan Retensi (ARP) dari pembawa radio MBMS yang berbeda^[23].

9.9 Perbaikan Laten

Latensi bidang pengguna didefinisikan sebagai waktu transit satu arah untuk paket dari sumber (UE/eNB) ke tujuan (eNB/UE). Latensi bidang kontrol mengacu pada waktu transisi dari keadaan diam ke keadaan aktif. Persyaratan latensi pesawat pengguna dan kontrol ITU untuk sistem IMT-Advanced adalah 10 ms dan 100 ms, masing-masing^[55,56].

Pada saat ini, LTE memiliki latensi terendah dari semua teknologi komunikasi seluler dan bisa serendah 7 ms (antara UE dan eNB), melebihi persyaratan yang direkomendasikan ITU^[5]. LTE tidak hanya memenuhi persyaratan latency dari ITU, tetapi telah menambahkan beberapa mekanisme yang dapat digunakan untuk lebih mengurangi latency c-plane seperti^[26]:

- Menggabungkan permintaan koneksi RRC dan pesan permintaan layanan NAS (non-access stratum) dapat mengurangi latensi keseluruhan dari mode siaga ke mode terhubung sekitar 20 ms.
- Dengan mengurangi periode penjadwalan RACH dari 10 ms menjadi 5 ms, waktu tunggu rata-rata bagi UE untuk memulai prosedur untuk transit dari mode siaga ke mode terhubung dapat dikurangi sebesar 2,5 ms.

⁴⁹ Dalam mode terhubung, mobilitas koneksi radio harus didukung
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

- Siklus PUCCH yang lebih pendek dapat mengurangi transisi dari status tidak aktif ke status aktif dalam mode terhubung. Ini secara khusus dapat mengurangi waktu tunggu rata-rata untuk UE yang disinkronkan untuk meminta sumber daya dalam mode terhubung.

LTE memberikan latensi u-plane di bawah 10 ms untuk UE yang disinkronkan. Ketika UE tidak memiliki penetapan penjadwalan yang valid atau ketika perlu menyinkronkan dan memperoleh penugasan penjadwalan, periode penjadwalan RACH yang dikurangi, siklus PUCCH yang lebih pendek, dan sebagainya dapat digunakan untuk meningkatkan latensi dibandingkan dengan LTE Rel-8^[26].

9.10 Enhanced Inter-Cell Interface Coordination (eICIC)

LTE mendukung berbagai bentuk teknik pembatalan interferensi dan penghindaran interferensi. Salah satu teknik tersebut, ICIC, didefinisikan dalam Rel-8, dan versi yang disempurnakan, yaitu, eICIC di Rel-10, sementara peningkatan lebih lanjut (FeICIC) dibuat di Rel-11. ICIC mencakup frekuensi serta komponen domain waktu.

9.10.1 ICIC versus eICIC/FeICIC

ICIC adalah fungsi manajemen sumber daya radio multi-sel yang mengelola sumber daya radio sedemikian rupa sehingga gangguan ini tetap terkendali. Untuk ICIC domain waktu, dimulai dengan Rel-10, pemanfaatan subframe di sel yang berbeda dikoordinasikan dalam waktu melalui Subframe Hampir Kosong (ABS) [57]. Rel-10 dan Rel-11 memberikan dukungan untuk mengelola interferensi dalam skenario HetNet dalam domain waktu melalui eICIC dan FeICIC dan dalam domain frekuensi dengan ICIC berbasis agregasi pembawa^[58].

ICIC mengurangi interferensi antara base station makro tetangga dengan mengurangi kekuatan beberapa subchannel dalam domain frekuensi. Karena dayanya berkurang, subsaluran ini hanya dapat diterima di dekat stasiun pangkalan. Subkanal yang sama juga dapat digunakan di sel tetangga. eICIC, di sisi lain, dirancang untuk menyediakan manajemen interferensi di HetNets karena dengan desain, cakupan sel kecil tumpang tindih dengan sel makro. Dengan demikian, ICIC lebih seperti skema mitigasi interferensi sel makro sementara eICIC/FeICIC dirancang untuk menangani interferensi di HetNets^[5,23,59].

9.10.2 eICIC di HetNets

Di HetNets, ada perbedaan besar (misalnya $10 \times$ dB) antara tingkat daya pancar sel makro dan sel kecil. Hal ini membuat cakupan downlink dari sel kecil jauh lebih kecil daripada stasiun pangkalan makro. Interferensi dari sinyal makrosel ke transmisi sel kecil dapat mengurangi kemampuan untuk melepas lalu lintas dari sel makro. Dengan demikian, penyeimbangan beban antara sel makro dan sel kecil diperlukan dan dapat disediakan dengan memperluas cakupan sel kecil dan selanjutnya meningkatkan perolehan pembelahan sel. Konsep ini disebut perluasan jangkauan^[60].

Rel-8 dan Rel-9 ICIC mendukung perluasan jangkauan hingga sekitar 3 dB bias, sedangkan bias yang lebih besar terhadap sel kecil dapat didukung melalui ABS (subframe hampir kosong) yang diperkenalkan di Rel-10. ABS memungkinkan stasiun pangkalan makro untuk memesan beberapa subframe untuk sel kecil yang terkait. Kapasitas dapat ditingkatkan karena setiap sel kecil dapat menggunakan subframe kosong tanpa gangguan dari sel kecil lainnya. Perangkat berkemampuan Rel-11 mendukung pembatalan interferensi Cell Specific Reference Symbol (CRS)^[58,61]. Perangkat tersebut dapat membatalkan interferensi pada saluran kontrol umum

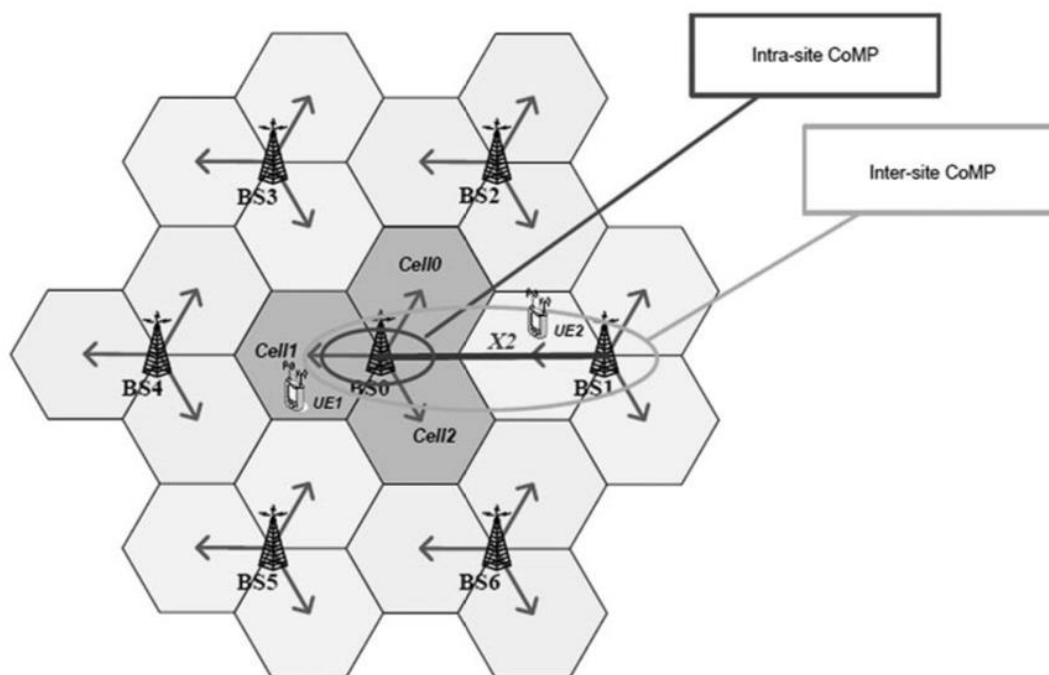
ABS yang disebabkan oleh sel yang mengganggu seperti sinyal CRS dari sel makro berdaya tinggi. Tanpa kemampuan seperti itu, eICIC jaringan heterogen hanya dapat bekerja untuk kasus CRS yang tidak bertabrakan. Qualcomm^[62] mengklaim bahwa pembatalan interferensi CRS diperlukan dengan eICIC untuk mendapatkan peningkatan yang bermanfaat dalam throughput data sel.

9.11 Coordinate Multi-Point Transmission and Reception (CoMP)

CoMP adalah teknik untuk meningkatkan cakupan, throughput, dan efisiensi spektral jaringan LTE. CoMP dipelajari dalam Rel-10 dan distandarisasi dalam Rel-11 untuk memerangi interferensi antar-sel yang terutama terjadi dengan perangkat tepi sel^[63].

Pada prinsipnya, CoMP mengoptimalkan transmisi dan penerimaan dari beberapa titik distribusi baik dalam penyebaran jaringan homogen dan heterogen. Perangkat di tepi sel dapat menerima sinyal dari beberapa pemancar dan jika pemancar ini dapat mengoordinasikan transmisinya, kinerja downlink dapat ditingkatkan. Untuk uplink, sinyal dari perangkat yang diterima di beberapa titik penerimaan dapat meningkatkan kinerja tautan secara signifikan. Kedua link mendapatkan keuntungan dari teknik seperti transmisi bersama, penerimaan bersama, beamforming terkoordinasi, dan sebagainya^[5,57,64].

Transmisi CoMP dapat berupa intra-situs, antar-situs atau dalam arsitektur radio terdistribusi di mana RRU ditempatkan di lokasi yang berbeda dari area unit pita dasar yang ditunjukkan pada Gambar 9.9. Manfaat utama CoMP intra-situs adalah bahwa sebagian besar pertukaran informasi dapat terjadi di antara sel-sel yang bekerja sama karena koneksi backhaul antara eNB tidak terlibat. CoMP antar-situs, di sisi lain, melibatkan koordinasi beberapa situs untuk transmisi CoMP yang membutuhkan transportasi backhaul. CoMP antar-lokasi membawa beban dan persyaratan tambahan pada desain backhaul. Arsitektur RAN terdistribusi adalah bentuk CoMP antar-situs di mana RRU dari satu eNB dipasang di tiang menara dan terutama terhubung melalui kabel serat^[5,64].



Gambar 9.9 Jenis koordinasi CoMP. (Dari 4G Americas 2012 4G Mobile Broadband Evolution: Rilis 10, Rilis 11 dan Selanjutnya – HSPA+, SAE/LTE dan LTE-Advanced^[23].)

9.11.1 Downlink Comp

Downlink CoMP mengacu pada berbagai jenis koordinasi dalam transmisi downlink dari beberapa titik transmisi yang terpisah secara geografis [26]. Hal ini dapat dibantu dengan teknik seperti Coordinated Scheduling/Beamforming (CS/CB) atau Joint Transmission (JT). CS/CB dikoordinasikan secara dinamis antar sel untuk mengurangi interferensi antara transmisi yang berbeda dan untuk meningkatkan kekuatan sinyal perangkat yang dilayani. JT memungkinkan transmisi data simultan dari beberapa titik ke satu perangkat. Transmisi ini akan dikoordinasikan sebagai pemancar tunggal dengan beberapa antena di lokasi terpisah yang membutuhkan kemampuan backhaul yang ketat tetapi memungkinkan kinerja yang lebih tinggi [64].

9.11.2 Uplink Comp

CoMP uplink mengacu pada penerimaan sinyal yang ditransmisikan di beberapa titik yang terpisah secara geografis. Interferensi dapat dikontrol dengan mengkoordinasikan keputusan penjadwalan antar sel^[26,64]. Teknik seperti penerimaan bersama (JR) dapat diterapkan untuk menerapkan UL CoMP di mana PUSCH yang ditransmisikan oleh perangkat diterima secara bersama-sama di beberapa titik (sebagian atau seluruh rangkaian kerja sama CoMP⁵⁰) pada satu waktu, misalnya, untuk meningkatkan sinyal yang diterima kualitas^[63].

9.11.3 Harapan Kinerja

3GPP TR 36.819^[63] memberikan beberapa peningkatan kinerja yang terkait dengan CoMP. Ketika pemanfaatan sumber daya kurang dari 35% dalam mode FDD, CoMP dengan pemrosesan bersama (transmisi bersama) dapat memberikan peningkatan kinerja 5,8% untuk pengguna rata-rata dan peningkatan 17% untuk pengguna tepi sel relatif terhadap HetNets tanpa eICIC di downlink. Untuk pemanfaatan sumber daya lebih dari 35% dalam mode FDD, CoMP dengan JT dapat memberikan keuntungan rata-rata 17% dan keuntungan tepi-sel 40% relatif terhadap HetNets tanpa eICIC di downlink. Dalam uplink, keuntungannya adalah 15,2% (rata-rata area sel makro) dan 45% (pengguna tepi sel) relatif terhadap HetNets tanpa eICIC.

9.12 LTE-Advanced Pro

LTE-Advanced Pro menggambarkan tonggak (tahap evolusi) dalam pengembangan LTE dan sejak saat itu pada platform LTE dianggap sangat ditingkatkan untuk mengatasi pasar baru serta menggabungkan fungsionalitas tambahan untuk meningkatkan efisiensi. Rel-13 dan seterusnya dianggap sebagai LTE-Advanced Pro oleh 3GPP^[65].

Fitur/penyempurnaan utama yang diselesaikan di Rel-13 sambil mempertahankan kompatibilitas mundur termasuk dukungan untuk kecepatan data yang lebih tinggi di atas 3 Gbps, dukungan untuk spektrum berlisensi (450 MHz hingga 3,8 GHz) dan tidak berlisensi (5 GHz), transmisi superposisi multi-pengguna di downlink, peningkatan berbagi RAN, konektivitas dan arsitektur sel kecil ganda, MIMO dimensi penuh, dan banyak lainnya^[65-67]. Sebuah subset dari perangkat tambahan tersebut dijelaskan di bagian ini.

9.13 Peningkatan Agregasi Karir

Konsep agregasi pembawa diusulkan dalam LTE-Advanced (Rel-10) dengan lima CC, masing-masing memiliki ukuran 20 MHz. Total bandwidth agregat tetap 100 MHz hingga Rel-12. Rel-

⁵⁰ Satu set titik (terpisah secara geografis) yang dimaksudkan untuk penerimaan data dari perangkat
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

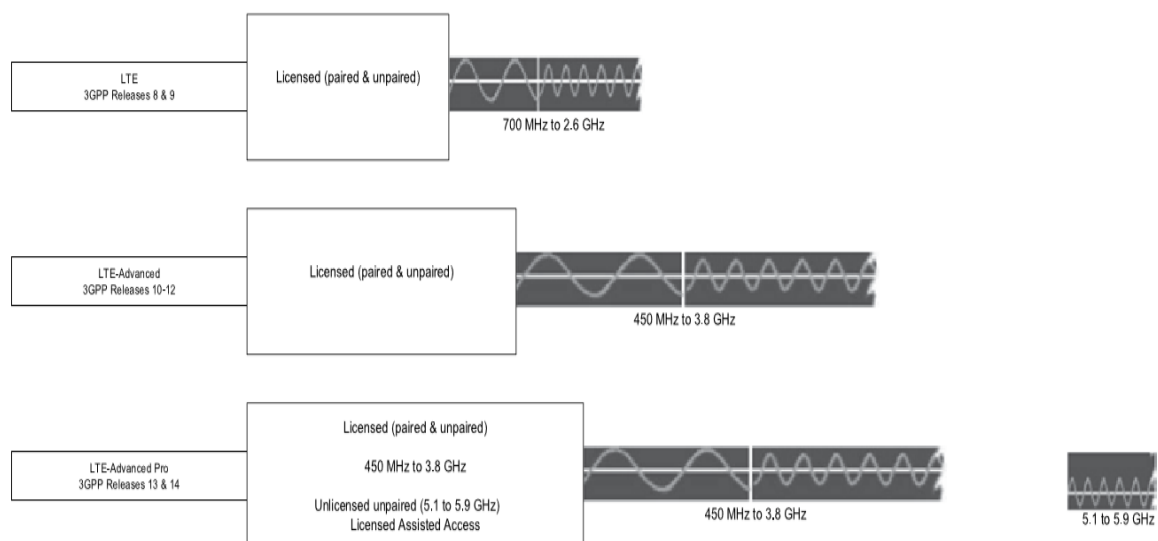
13 memberikan peningkatan yang signifikan dan mendukung agregasi hingga 32 operator komponen, masing-masing 20 MHz, menghasilkan total bandwidth 640 MHz. Dengan bandwidth sebesar ini, 3 Gbps atau lebih dapat didukung^[68,69].

9.14 Akses Berbantuan Berlisensi Menggunakan LTE

Jaringan LTE terutama mendukung penyebaran dalam pengaturan berpasangan dan tidak berpasangan dan dalam mode FDD dan TDD dalam kisaran 400 MHz hingga 3,8 GHz. 3GPP TR 36.889 [70] menetapkan dukungan pita 5 GHz tanpa izin untuk downlink LTE untuk mengatasi permintaan data yang terus meningkat. Peningkatan LTE dalam spektrum tidak berlisensi ini disebut Licensed Assisted Access (LAA) dan ditentukan dalam Rel-13. Pada pita 5 GHz tanpa izin, tersedia sejumlah besar spektrum yang cocok untuk sel kecil (hanya downlink). Evolusi penggunaan spektrum LTE dari Rel-8 ke Rel-14 ditunjukkan pada Gambar 9.10. Rel-14 mendukung LAA dalam uplink untuk meningkatkan kecepatan dan kapasitas data uplink^[68,69].

Upaya sebelumnya seperti LTE-U (LTE dalam spektrum yang tidak berlisensi) untuk menstandarisasi LTE dalam spektrum yang tidak berlisensi memiliki keberhasilan yang terbatas karena hal ini tidak mempertimbangkan jumlah yang tepat dari pembatasan peraturan khusus regional dan negara. Spesifikasi LAA Rel-13 menghasilkan kerangka kerja global untuk LAA ke spektrum tidak berlisensi (5 GHz) sambil mempertimbangkan batas daya peraturan regional.

Di bawah Rel-13 LAA, operator berlisensi digabungkan dengan operator tidak berlisensi untuk secara oportunistik meningkatkan kinerja data downlink. Ini juga merupakan metode yang sangat produktif untuk pembongkaran lalu lintas karena lalu lintas data dapat dibagi, dengan resolusi milidetik, antara frekuensi berlisensi dan tidak berlisensi. Pemisahan memungkinkan perangkat untuk secara bersamaan menerima transmisi di kedua jalur. LAA memungkinkan LTE untuk menggunakan sel kecil berdaya rendah dalam spektrum tidak berlisensi menggunakan CA. Ini menggunakan CA di downlink untuk menggabungkan LTE dalam spektrum tidak berlisensi dengan LTE di pita berlisensi. Spektrum berlisensi membawa semua informasi kontrol dan pensinyalan sementara data menggunakan pita tidak berlisensi^[71]. Ini terutama menggunakan protokol pertentangan yang dikenal sebagai mendengarkan-sebelum-bicara (LBT) untuk hidup berdampingan dengan perangkat WiFi lain pada band yang sama dan pemilihan frekuensi dinamis (DFS) untuk menghindari radar di band tertentu^[67,71].



Gambar 9.10 Pemanfaatan spektrum LTE.

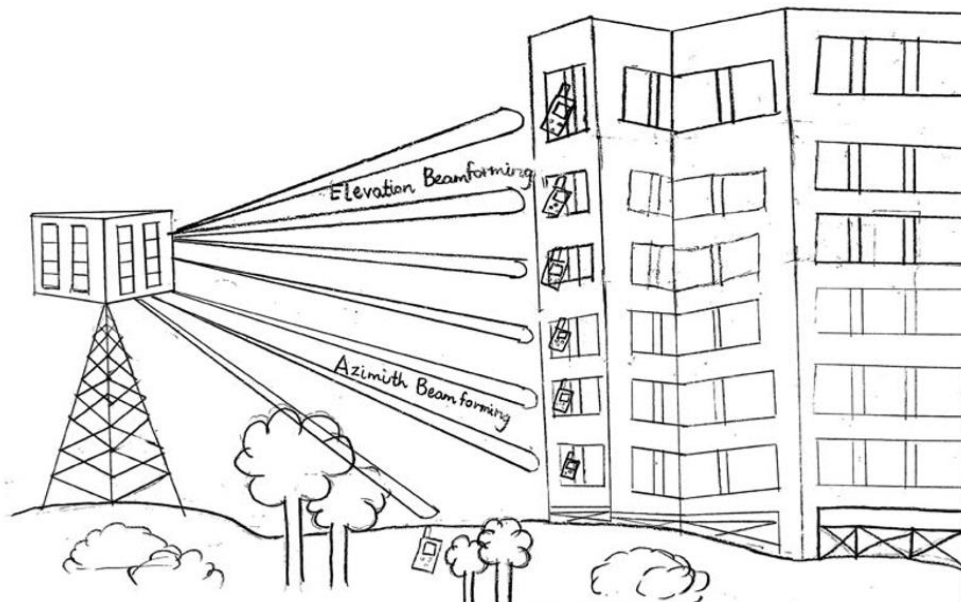
9.15 Peningkatan MIMO

MIMO diperkenalkan di LTE (3GPP Rel-8) untuk memberikan kapasitas dan efisiensi spektral yang lebih tinggi. LTEAdvanced (Rel-10) mendukung 8×8 MIMO di downlink dan 4×4 di uplink. LTE-Advanced Pro (Rel-13) memperkenalkan langkah selanjutnya dengan elevasi beamforming (EB) dan Full Dimensional MIMO (FD-MIMO).

FD-MIMO mendukung beamforming elevasi dan azimuth seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.11. Ini membayangkan peningkatan jumlah port antenna pada pemancar (base station) hingga 64 untuk meningkatkan efisiensi spektral dengan Rel-13. FD-MIMO menggabungkan model 3D untuk menangkap sudut elevasi karena model 2D tidak dapat menggambarkan perbedaan elevasi karena mengasumsikan sudut elevasi nol^[72].

Hingga Rel-11/12, 3GPP terutama mempertimbangkan susunan antenna satu dimensi yang mengeksplorasi dimensi azimuth dan MIMO dengan delapan atau lebih sedikit port antenna. Dengan Rel-13, studi ekstensif^[73] dilakukan oleh 3GPP untuk memahami manfaat kinerja dari peningkatan yang menargetkan operasi array antenna dengan 8 atau lebih unit transceiver (TXRU) per titik transmisi. Sejumlah besar transceiver dapat diimplementasikan dengan susunan antenna aktif. Array antenna aktif di samping elemen pemancar pasif juga dapat mencakup amplifier RF, filter, atau fungsi pemrosesan digital^[68]. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Skema berbasis nonprecoded, beamformed, dan hybrid CSI-RS (Channel State Information Reference Signals) menunjukkan peningkatan throughput yang signifikan
- Pelaporan CSI berbasis noncodebook, peningkatan DMRS (Demodulation Reference Signal) serta peningkatan SRS (Sounding Reference Signal) bermanfaat untuk EB/ FD-MIMO

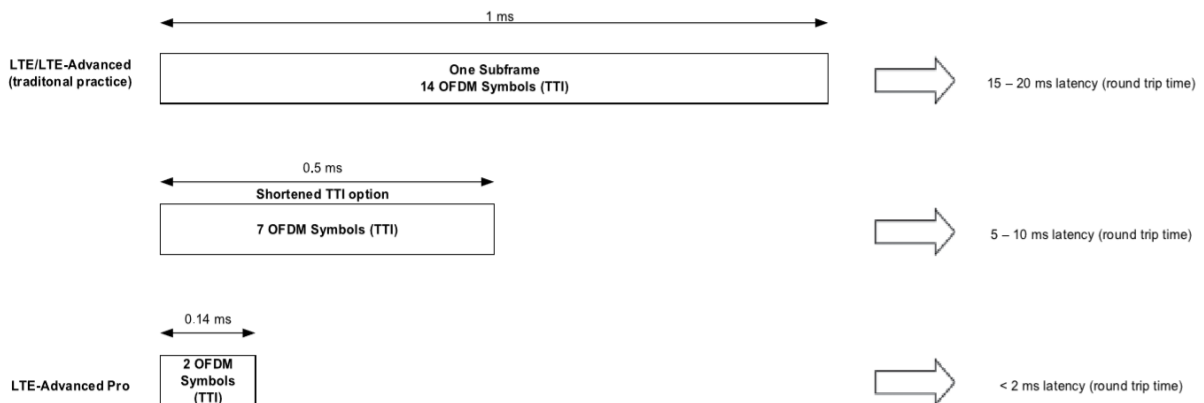


Gambar 9.11 FD-MIMO

9.16 Perbaikan Latensi

Pekerjaan sedang berlangsung di 3GPP untuk menemukan cara mengurangi latensi dalam sistem LTE. LTE/LTE-Advanced menggunakan 1 ms TTI (Transmission Time Interval) sesuai dengan 14 simbol OFDM dan satu subframe. 3GPP berencana untuk mengubah pendekatan

ini untuk sistem LTE-Advanced Pro dengan mengurangi panjang frame. TTI dapat dikurangi dengan mengurangi jumlah simbol dari 14 menjadi 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.12. Pendekatan ini layak dalam menjaga kompatibilitas dan kegunaan di pita LTE yang ada. LTE/LTE-Advanced 1 ms TTI menghasilkan sekitar 15-20 ms latensi (waktu pulang pergi), sedangkan LTE-Advanced Pro dapat menyediakan waktu perjalanan pulang pergi kurang dari 2 ms.



Gambar 9.12 TTI dan Laten

9.17 5G RN

5G NR saat ini sedang dalam tahap penentuan. Menurut ITU-R, IMT-2020 (termasuk 5G) adalah sistem seluler yang mencakup antarmuka radio baru yang mendukung kemampuan baru sistem di luar IMT-2000 dan IMT-Advanced^[56,74]. ITU-R telah membayangkan tiga skenario penggunaan berikut untuk IMT-2020^[5,75]

- eMBB: memberikan kecepatan lebih tinggi untuk aplikasi seperti penjelajahan web, streaming, dan konferensi video.
- URLLC: mengaktifkan aplikasi mission-critical, otomatisasi industri, aplikasi medis baru, dan mengemudi otonom yang membutuhkan waktu traversal jaringan yang sangat singkat.
- mMTC: memperluas kemampuan LTE IoT untuk mendukung sejumlah besar perangkat dengan jangkauan yang ditingkatkan dan masa pakai baterai yang lama.

9.18 Permintaan

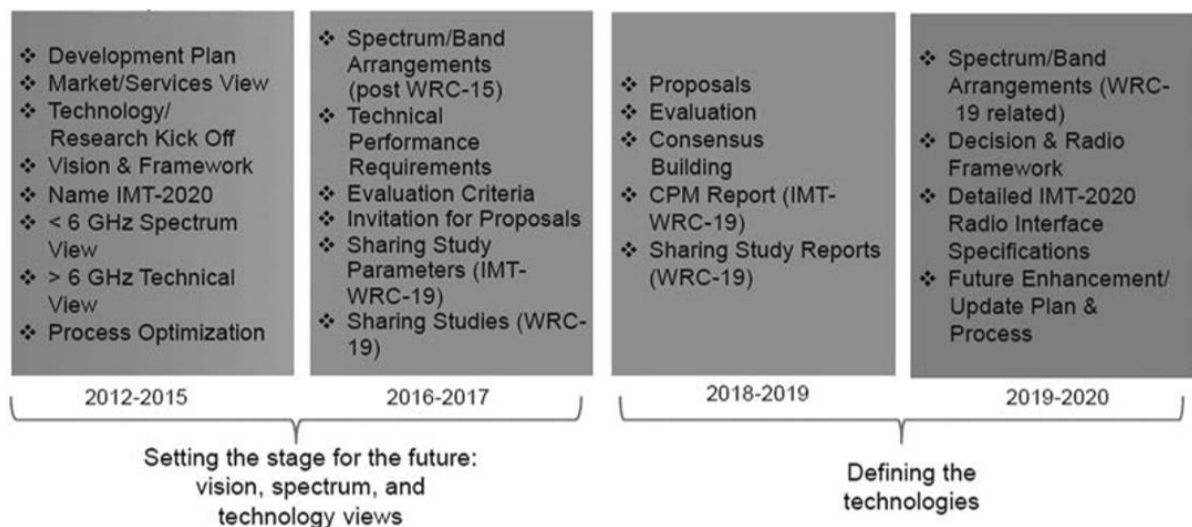
ITU-R telah menerbitkan jadwal^[76] untuk standarisasi IMT-2020 dan menetapkan jadwal berikut seperti yang ditunjukkan Gambar 9.13:

- 2016–2017: Menentukan persyaratan kinerja teknis, kriteria evaluasi, dan identifikasi pita spektrum.
- 2018–2019: Pengajuan dan evaluasi proposal.
- 2019–2020: Rilis spesifikasi radio berbasis IMT-2020.

Sejalan dengan jadwalnya, ITU-R menerbitkan/menyetujui kriteria kinerja teknis minimum untuk kandidat teknologi antarmuka radio IMT-2020 pada tahun 2017^[56,77]. Ini mendefinisikan delapan “Kemampuan untuk IMT-2020” kunci, yang membentuk dasar untuk 13 persyaratan kinerja teknis yang disajikan pada Tabel 9.1. Rekomendasi yang sama juga mengakui bahwa kemampuan utama ini akan memiliki relevansi dan penerapan yang berbeda untuk berbagai skenario penggunaan IMT-2020.

Dibandingkan dengan IMT-Advanced (4G), persyaratannya lebih ketat dan lebih beragam. Misalnya, data puncak downlink adalah 1 Gbps di 4G sementara 20 Gbps di IMT-2020, latensi bidang kontrol yang direkomendasikan adalah 100 ms di 4G sementara 20 ms di IMT-2020, dan banyak perubahan lainnya.

3GPP diharapkan menjadi kunci SDO untuk menjawab seruan ITU-R untuk proposal di IMT-2020. 3GPP adalah konsorsium terkenal dari tujuh SDO, yaitu, ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, dan TTC, yang dikenal sebagai Mitra Organisasi dan beberapa forum industri. 3GPP memiliki lebih dari 500 anggota (organisasi komersial serta akademisi) yang terkait dengan salah satu mitra organisasi ini. Jadi, singkatnya, semua pemangku kepentingan utama ITC serta perwakilan dari sektor transportasi, energi, dan lainnya hadir di 3GPP, bekerja untuk meningkatkan/menginovasi lanskap telekomunikasi.



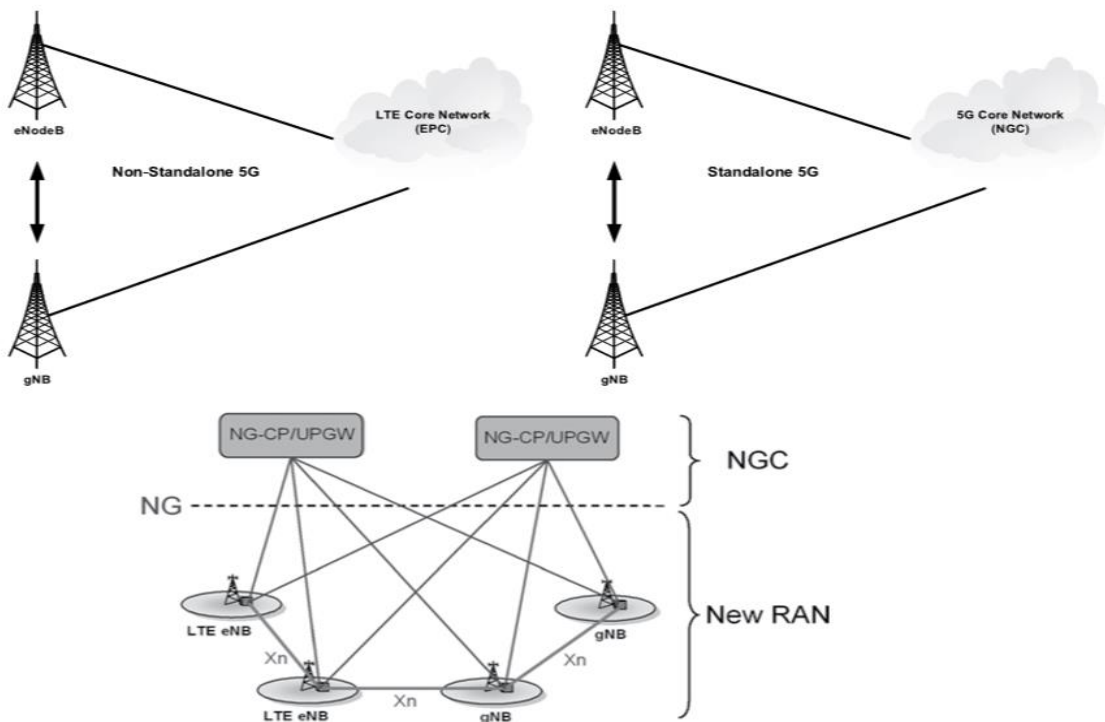
Gambar 9.13 Proses standarisasi IMT-2020. (Dari Tren Muncul ITU 2016 dalam 5G/IMT2020. Seri Pengarahan Misi Jenewa, September^[76].)

Tabel 9.1 Permintaan IMT-2020 (5G RN)

Indikator Performa Utama	Target Minimum
Kecepatan data puncak downlink	20 Gbps
Kecepatan data puncak uplink	10 Gbps
Efisiensi spektral puncak downlink	30 bit/s/Hz
Efisiensi spektral puncak uplink	15 bit/s/Hz
Kecepatan data pengalaman pengguna	0.3/0.225/0.12 bit/s/Hz
Downlink 5% persentil efisiensi spektral pengguna	0.21/0.15/0.045 bit/s/Hz
Uplink 5% persentil efisiensi spektral pengguna	(Indoor/dense urban/rural)
Efisiensi spektral rata-rata downlink	9/7.8/3.3 bit/s/Hz/TRxP
Efisiensi spektral rata-rata uplink	6.75/5.4/1.6 bit/s/Hz/TRxP (indoor/dense urban/rural)
	TRxP: Transmission point
Kapasitas lalu lintas area (downlink)	10 Mbps/m ² (indoor hotspot)
Latensi	4 ms
Latensi bidang pengguna (satu arah)	1 ms

Kontrol latensi bidang	20 ms
Kepadatan koneksi (yaitu, jumlah total perangkat yang memenuhi QoS tertentu per unit area)	1.000.000 perangkat per km ²
Efisiensi energi	Tanpa target spesifik (teknologi radio mungkin mendukung high sleep ratio dan durasi long sleep)
Keandalan (yaitu, berkaitan dengan kemampuan mentransmisikan sejumlah lalu lintas tertentu dalam durasi waktu yang telah ditentukan dengan probabilitas keberhasilan yang tinggi)	10-105
Mobilitas	
Waktu gangguan mobilitas (yaitu, durasi waktu terpendek yang didukung oleh sistem selama perangkat tidak dapat bertukar paket pesawat pengguna dengan stasiun pangkalan mana pun selama transisi)	
Bandwidth (yaitu, bandwidth sistem agregat maksimum)	100 MHz (up to 1 GHz bandwidth for above 6 GHz)

Sumber: ITU-R 2017 Draft Laporan Baru ITU-R M. [IMT-2020. Tech Perf Req] Persyaratan Minimum Terkait Kinerja Teknis untuk Antarmuka Radio IMT-2020^[56].



Gambar 9.14 Keseluruhan struktur lapisan 2 untuk RN. (Dari 3GPP TR 38.912 (V14.0.0) 2017 Studi Teknologi Akses Radio Baru (RN) Spesifikasi Teknis (Rilis 14), Grup Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, Maret^[78].)

9.19 Fase 3GPP untuk IMT-2020

3GPP bekerja untuk memperkenalkan teknologi akses NR untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh ITU-R untuk IMT-2020. 3GPP telah membagi pekerjaan ini menjadi dua fase, di mana fase 1 dapat memperkenalkan NR sambil mempertahankan jaringan inti LTE, yaitu

EPC dan disebut non-standalone. Dalam arsitektur jenis ini, lalu lintas UP (pesawat pengguna) dirutekan dari stasiun pangkalan NR, yang disebut gNB, melalui eNB ke EPC atau dirutekan langsung dari gNB ke EPC. Pada fase kedua, arsitektur Jaringan Inti 5G yang disebut sebagai NGC didirikan di mana NR dapat terhubung secara langsung. Selain itu, LTE eNB juga dapat terhubung ke NGC dan mungkin tidak memerlukan EPC^[67,78]. Arsitektur tingkat tinggi dari fase ini ditunjukkan pada Gambar 9.14.

Program dua fase ini dimulai pada Rel-14 diikuti oleh Rel-15 (fase 1) dan Rel-16 (fase 2) dengan tujuan agar semuanya sesuai dengan persyaratan IMT-2020 dan diselesaikan pada batas waktu ITU-R. Rel-14, yang selesai pada Juni 2017, berfokus pada teknologi RAN dan aspek Arsitektur Sistem (SA) baru. Itu baik memulai atau menyelesaikan studi tentang aspek-aspek tertentu dari NR termasuk persyaratan RAN keseluruhan, teknologi, dan solusi potensial. Rel-15 akan memberikan spesifikasi untuk fase-1 5G, yaitu NR non-mandiri, yang kemungkinan akan menekankan operasi eMBB dan sub-40 GHz dan dijadwalkan selesai pada September 2018. Rel-16 akan merancang spesifikasi untuk fase-2, yaitu NR mandiri, yang diharapkan akan selesai pada tahun 2020. Spesifikasi fase-2 diharapkan sepenuhnya sesuai dengan persyaratan IMT-2020 ITU-R yang memungkinkan 5G berbasis standar siap untuk diterapkan dalam satu tahun atau lebih.

9.20 RN Air-Interface

Elemen penting dari 5G adalah antarmuka udara 5G NR yang diperlukan untuk mengaktifkan tiga skenario penggunaan yang ditentukan oleh ITU-R. Dengan demikian, ini tidak hanya akan meningkatkan mobile broadband, tetapi mungkin perlu memberikan layanan IoT dan mission-critical yang masif. Fitur-fitur seperti bentuk gelombang, teknik akses ganda, lapisan fisik, lapisan 2, dan RRC diharapkan dapat diformalkan di Rel-15. Rel-16 dan seterusnya dapat memperkenalkan dukungan untuk pita frekuensi di atas 40 GHz dan NGC.

RN sedang dalam penyelidikan dan pengembangan sehingga sejumlah masalah masih belum sepenuhnya terselesaikan. Fokus bagian ini adalah untuk menyajikan aspek-aspek tertentu termasuk beberapa tantangan NR seperti yang disorot oleh 3GPP hingga tahun 2017.

9.20.1 Lapisan Fisik dan Numerologi RN

Lapisan fisik NR mendukung banyak numerologi di mana numerologi ditentukan oleh spasi subcarrier dan overhead cyclic prefix (CP). Ini berbeda dengan LTE yang mendukung numerologi tetap 15 kHz. 5G NR memperkenalkan numerologi OFDM yang dapat diskalakan yang mendukung jarak subcarrier dari 15 kHz hingga 480 kHz. Demikian pula, TTI, yang mengacu pada durasi transmisi pada tautan radio, masih berlaku di RN. Sebagaimana dinyatakan dalam^[78], durasi TTI sesuai dengan sejumlah simbol berurutan dalam domain waktu dalam satu arah transmisi. LTE mendukung durasi TT1 tetap 1 ms dan ada penelitian yang sedang berlangsung untuk memiliki TTI dari berbagai durasi untuk mendukung persyaratan latensi yang lebih rendah dari 5G RN. Penelitian juga sedang dilakukan untuk memperkenalkan service aware TTI. Misalnya, layanan eMBB QoS tinggi dapat menggunakan TTI 500 s sementara beberapa layanan sensitif latensi lainnya jadi pendek menjadi 140 s.

Atribut kunci tambahan dari numerologi NR adalah sebagai berikut:

- Bandwidth saluran maksimum per operator adalah 400 MHz di Rel-15.
- Pemilihan numerologi tidak tergantung pada pita frekuensi; namun, jarak subcarrier yang sangat rendah mungkin tidak cocok untuk frekuensi carrier yang tinggi.
- Jumlah maksimum subcarrier per operator NR adalah 3300 atau 6600 di Rel-15.
- Durasi subframe ditetapkan menjadi 1 ms dan panjang bingkai adalah 10 ms.

- Spasi subcarrier bervariasi dari 15 kHz hingga 480 kHz yang ditentukan oleh $15 \text{ kHz} * 2n$ (n adalah bilangan bulat nonnegatif).
- Jumlah subcarrier per PRB (blok sumber daya fisik) adalah 12.
- Lapisan fisik mendukung CP yang diperpanjang (durasi 16,67 mikrodetik) dan hanya akan ada satu dalam jarak subcarrier yang diberikan di Rel-15. Di Rel-15, CP diperpanjang skala LTE (awalan siklik) didukung, setidaknya untuk jarak subcarrier 60 kHz.
- Tidak ada subcarrier DC (arus searah) eksplisit yang dicadangkan untuk downlink dan uplink.
- Sebuah slot terdiri dari 7 atau 14 simbol OFDM untuk jarak pembawa yang sama hingga 60 kHz dan 14 simbol OFDM untuk jarak pembawa yang sama lebih tinggi dari 60 kHz dengan CP normal.
- Agregasi slot didukung, yaitu transmisi data dapat dijadwalkan untuk menjangkau satu atau beberapa slot.
- Slot mini dengan panjang 1 simbol di atas 6 GHz didukung.

9.20.2 Analisis Frekuensi RN

WRC-15 mengidentifikasi rentang frekuensi 24,25 GHz hingga 86 GHz untuk sistem IMT-2020/5G. Penyelidikan sedang berlangsung untuk menemukan rangkaian frekuensi yang tepat, bandwidth spektrum yang sesuai, jarak subcarrier, dan parameter RF lainnya. Analisis awal di 3GPP memberikan temuan kunci berikut:

- Rentang frekuensi dibagi menjadi tiga rentang, yaitu 30 GHz, 45 GHz, dan 70 GHz.
- Perbedaan yang signifikan antara LTE dan NR adalah bahwa beberapa jarak subcarrier ditentukan untuk NR dibandingkan dengan LTE yang hanya mendukung 15 kHz. Sebagaimana dinyatakan di atas, jarak subcarrier bervariasi dari 15 kHz hingga 480 kHz untuk RN. Kandidat potensial untuk spasi subcarrier adalah sebagai berikut:
 - <6 GHz: 15 kHz, 30 kHz, dan 60 kHz
 - >6 GHz: 60 kHz, 120 kHz, dan 240 kHz.
- Bandwidth saluran maksimum dari perspektif lapisan fisik adalah 400 MHz sedangkan dari perspektif RF adalah sebagai berikut:
 - <6 GHz: 100 MHz hingga 200 MHz dalam penyelidikan
 - >6 GHz: 100 MHz hingga 1 GHz untuk penyelidikan.
- Utilisasi spektrum LTE maksimum adalah 90%. Misalnya, bandwidth transmisi saluran 20 MHz di LTE di 18 MHz. Untuk NR, studi awal menunjukkan bahwa pemanfaatan bandwidth transmisi bisa di atas 90%. Oleh karena itu NR diharapkan dapat memberikan pemanfaatan spektrum yang lebih baik daripada LTE.

9.20.3 Lapisan PHY: Transmisi Berbasis OFDM

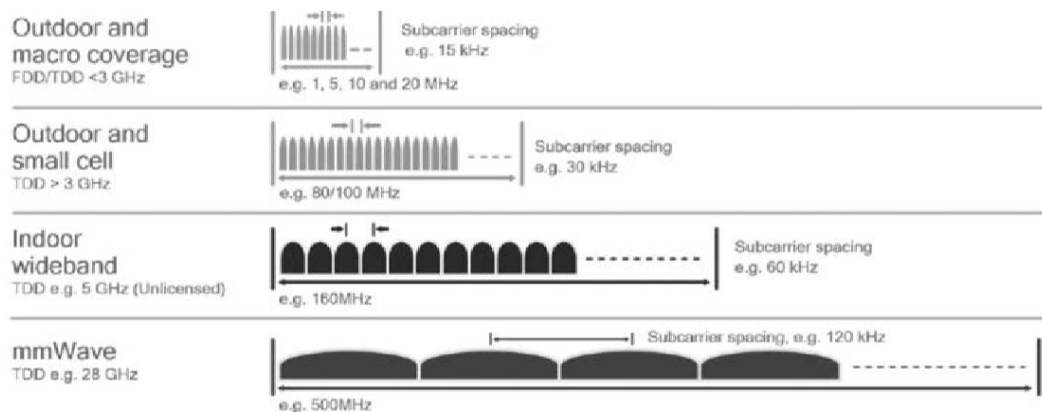
Bentuk gelombang berbasis OFDM didukung setidaknya hingga 40 GHz untuk layanan eMBB dan URLLC di downlink dan uplink. Numerologi OFDM yang dapat diskalakan memungkinkan dukungan untuk pita frekuensi yang beragam dan opsi penerapan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.15. Sampel yang ditunjukkan pada gambar ini mewakili skenario potensial dan sama sekali tidak menggambarkan solusi standar.

Selain CP-OFDM, DFT-S-OFDM (Discrete Fourier Transform Spread OFDM) hanya didukung di uplink untuk eMBB hingga 40 GHz. Bentuk gelombang CP-OFDM mendukung transmisi aliran

tunggal dan multi-aliran (mis., MIMO) sedangkan DFT-S-OFDM hanya mendukung transmisi aliran tunggal. Keputusan pemilihan bentuk gelombang terletak pada jaringan. Adalah wajib bagi perangkat untuk mendukung kedua jenis bentuk gelombang. Selain itu, akses ganda ortogonal berbasis penjadwalan sinkron didukung untuk transmisi downlink dan uplink untuk eMBB. Uplink diperlukan untuk mendukung akses ganda nonorthogonal untuk mMTC. Beberapa aspek tambahan dari lapisan fisik disediakan di 3GPP TR 38.912 di mana semua hasil teknis dari item studi teknologi NG NR Access dikumpulkan; Lihat pada Tabel 9.2.

9.20.4 Lapisan 2 dan RRC

Layer 2, seperti pada LTE, terdiri dari sublayer MAC, RLC, dan PDCP dengan fungsi yang serupa. Sublapisan baru, yang disebut sublapisan AS, ditambahkan ke lapisan 2 RN. Fungsi utama dari sublayer AS adalah pemetaan aliran QoS ke pembawa radio data (DRB) dan penandaan ID aliran QoS untuk paket downlink dan uplink. Di sisi penerima, ia melakukan pengiriman paket ke terowongan/sesi PDU yang sesuai menurut ID aliran QoS. Struktur L2 keseluruhan bersama dengan fungsi kunci dari setiap sublayer ditunjukkan pada Gambar 9.16^[78].



Gambar 9.15 Contoh model penggunaan, bandwidth saluran, dan jarak subcarrier. (Dari Qualcomm Technologies, Inc. 2016 Membuat 5G NR menjadi kenyataan^[79].)

Attributes	Downlink	Uplink
Modulation	QPSK, 16-QAM, 64-QAM and 256-QAM modulation with the same constellation as in LTE	QPSK, 16-QAM, 64-QAM and 256-QAM modulation with the same constellation as in LTE 0.5 pi-BPSK ^a is also supported for DFT-S-OFDM in uplink
Physical channels	Physical downlink shared channel, PDSCH Physical broadcast channel, PBCH Physical downlink control channel, PDCCH	Physical uplink shared channel, PUSCH Physical uplink control channel, PUCCH Physical random access channel, PRACH
Physical signals	Demodulation reference signals, DM-RS Channel-state information reference signal, CSI-RS Primary synchronization signal, PSS Secondary synchronization signal, SSS	Demodulation reference signals, DM-RS Sounding reference signal, SRS
Multiplexing	Multiplexing different numerologies within the same NR carrier bandwidth supported Multiplexing of transmissions with different latency and/or reliability requirements for eMBB/ URLLC in DL is supported by using the same subcarrier spacing with the same CP overhead or using different subcarrier spacing Dynamic resource sharing between different latency and/or reliability requirements for eMBB/ URLLC in DL supported	Multiplexing different numerologies within the same NR carrier bandwidth supported

Tabel 9.2 Aspek Lapisan isik RN

Sumber : Sumber: Dari 3GPP TR 38.912 (V14.0.0) 2017 Studi Teknologi Akses Radio Baru (RN). Spesifikasi Teknis (Rilis 14), Grup Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, Maret^[78].

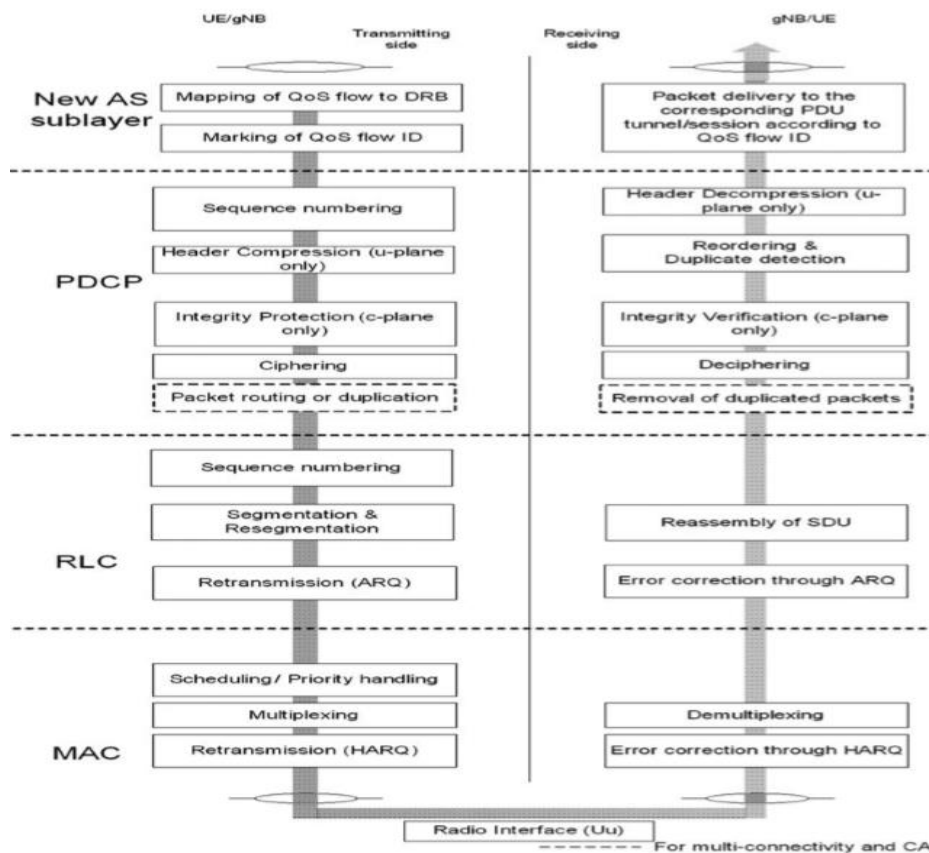
Fungsi lapisan RRC di bawah NR juga mirip dengan RRC. Beberapa fungsi utama termasuk pembentukan, konfigurasi, pemeliharaan, pelepasan pembawa sinyal radio dan pembawa radio data, dan pelepasan koneksi RRC antara UE dan NR RAN. RRC juga mendukung mobilitas tertentu dan fungsi manajemen QoS. Detailnya dapat ditemukan di^[78].

9.21 Rancangan 5G RAN

5G RAN akan terdiri dari node logis, yaitu, gNB dan eNB, yang terhubung satu sama lain dengan antarmuka Xn dan menuju NGC melalui antarmuka NG seperti yang pada Gambar 9.14.

Antarmuka Xn menghubungkan dua gNB atau dua eNB atau satu gNB dengan eNB. Antarmuka bidang kontrol Xn (Xn-C) dan antarmuka bidang pengguna Xn (Xn-U) didefinisikan di antara dua node RAN BARU untuk tujuan masing-masing. Antarmuka NG mendukung pensinyalan antara gNB/eNB dan NGC, pemisahan bidang kontrol dan pengguna, dan banyak fungsi lainnya. Antarmuka ini dibagi menjadi antarmuka kontrol dan pesawat pengguna, yaitu antarmuka bidang kendali NG (NG-C) dan antarmuka bidang pengguna NG (NG-U). Yang pertama didefinisikan antara NR gNB/eNB dan NG-CPGW (Gerbang bidang kontrol NG) sedangkan yang terakhir diidentifikasi antara gNB/eNB dan NG-UPGW (gerbang bidang pengguna NG). Antarmuka NG mendukung hubungan satu-ke-banyak antara NGC dan node RAN baru.

Tumpukan protokol antarmuka ini ditunjukkan pada Gambar 9.17. Lapisan SCTP (Stream Control Transmission Protocol) berada di atas lapisan IP/Transport, memberikan jaminan pengiriman pesan lapisan aplikasi di bidang kontrol. Di bidang pengguna, GTP-U (bidang pengguna protokol tunneling GPRS) menyediakan pengiriman PDU tanpa jaminan antara elemen jaringan masing-masing. Terakhir, protokol pensinyalan lapisan aplikasi didefinisikan sebagai Xn-AP (Xn Application Protocol).

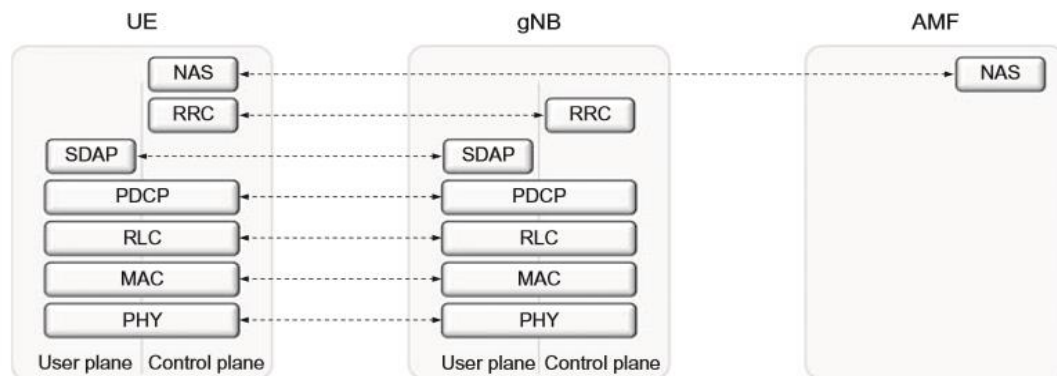


Gambar 9.16 Struktur lapisan 2 keseluruhan. (Dari 3GPP TR 38.912 (V14.0.0) Studi Teknologi Akses Radio Baru (RN) 2017 Spesifikasi Teknis (Rilis 14), Grup Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, Maret^[78].)

9.21.1 Arsitektur Protokol Radio

Dengan mempertimbangkan arsitektur jaringan secara keseluruhan, arsitektur protokol RAN untuk pengguna dan bidang kontrol dapat didiskusikan. Gambar 6.6 mengilustrasikan arsitektur protokol RAN (AMF, seperti yang dibahas pada bagian sebelumnya, bukan bagian dari RAN tetapi disertakan dalam gambar untuk kelengkapan).

Seperti terlihat pada Gambar 9.17 banyak entitas protokol yang umum untuk pengguna dan bidang kontrol dan karenanya PDCP, RLC, MAC, dan PHY hanya akan dijelaskan di bagian bidang pengguna.



Gambar 9.17 Tumpukan protokol bidang pengguna dan bidang kontrol.

9.21.2 Protokol Pesawat Pengguna

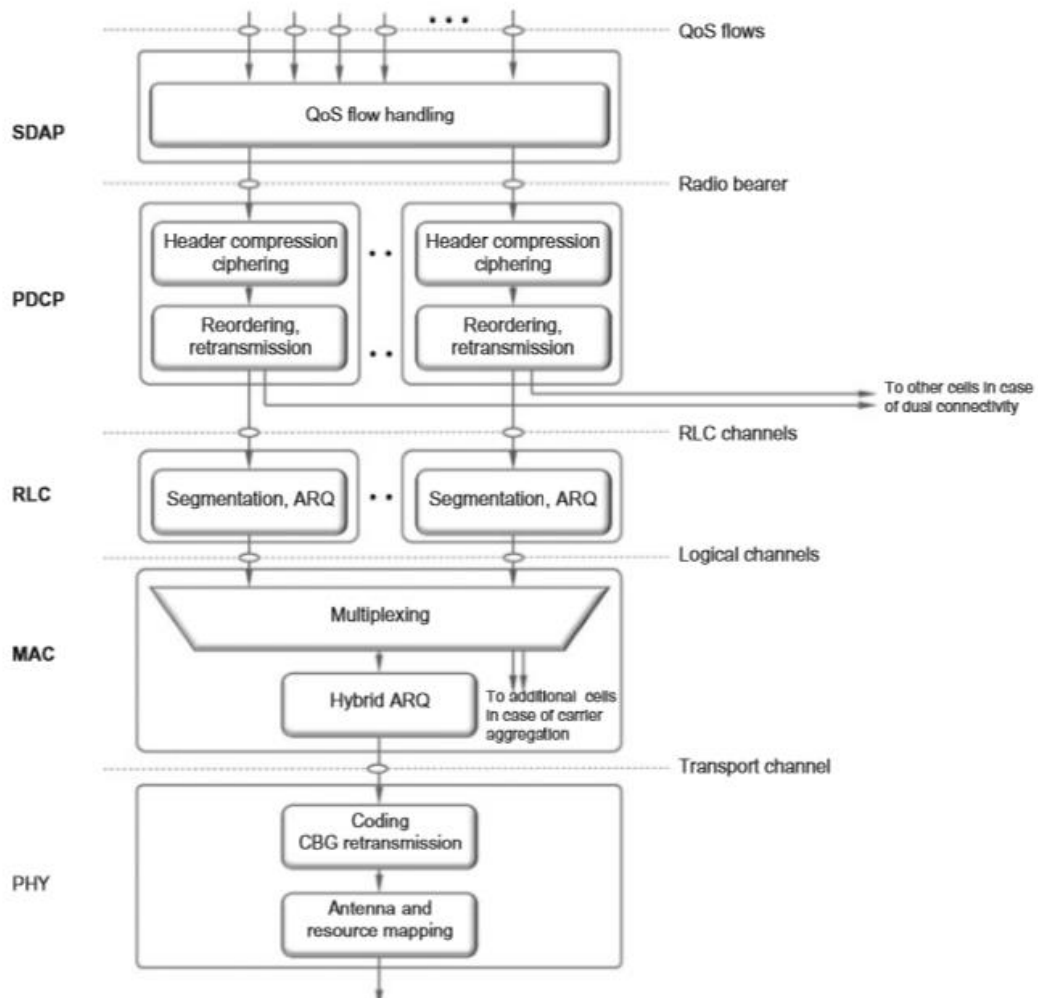
Gambaran umum arsitektur protokol bidang pengguna NR untuk downlink diilustrasikan pada Gambar 6.7. Banyak lapisan protokol yang mirip dengan yang ada di LTE, meskipun ada beberapa perbedaan juga. Salah satu perbedaannya adalah penanganan kualitas layanan di NR saat terhubung ke jaringan inti 5G, di mana lapisan protokol SDAP menerima satu atau lebih aliran QoS yang membawa paket IP sesuai dengan persyaratan Kualitas Layanannya. Dalam hal bidang pengguna NR terhubung ke EPC, SDAP tidak digunakan.

Seperti yang akan menjadi jelas dalam diskusi selanjutnya, tidak semua entitas yang diilustrasikan pada Gambar 9.18 dapat diterapkan dalam semua situasi. Misalnya, ciphering tidak digunakan untuk menyiarkan informasi sistem dasar. Struktur protokol uplink mirip dengan struktur downlink pada Gambar 9.18, meskipun ada beberapa perbedaan sehubungan dengan, misalnya, pemilihan format transport dan kontrol multiplexing saluran logis.

Entitas protokol yang berbeda dari jaringan akses radio diringkas di bawah ini dan dijelaskan secara lebih rinci di bagian berikut.

- *Service Data Application Protocol (SDAP)* bertanggung jawab untuk memetakan pembawa QoS ke pembawa radio sesuai dengan persyaratan kualitas layanan mereka. Lapisan protokol ini tidak ada di LTE tetapi diperkenalkan di NR saat menghubungkan ke jaringan inti 5G karena penanganan kualitas layanan yang baru.
- *Packet Data Convergence Protocol (PDCP)* melakukan kompresi header IP, penyandian, dan perlindungan integritas. Ini juga menangani transmisi ulang, pengiriman berurutan, dan penghapusan duplikat³ dalam kasus serah terima. Untuk konektivitas ganda dengan pembawa terpisah, PDCP dapat menyediakan perutean dan duplikasi. Ada satu entitas PDCP per pembawa radio yang dikonfigurasi untuk perangkat.

- *Radio-Link Control (RLC)* bertanggung jawab atas penanganan segmentasi dan transmisi ulang. RLC menyediakan layanan ke PDCP dalam bentuk saluran RLC. Ada satu entitas RLC per saluran RLC (dan karenanya per pembawa radio) yang dikonfigurasi untuk perangkat. Dibandingkan dengan LTE, NR RLC tidak mendukung pengiriman data berurutan ke lapisan protokol yang lebih tinggi, perubahan yang didorong oleh pengurangan penundaan seperti yang dibahas di bawah ini.
- *Medium-Access Control (MAC)* menangani multiplexing saluran logis, transmisi ulang hybrid-ARQ, dan penjadwalan dan fungsi terkait penjadwalan. Fungsi penjadwalan terletak di gNB untuk uplink dan downlink. MAC menyediakan layanan ke RLC dalam bentuk saluran logis. Struktur header di lapisan MAC telah diubah di NR untuk memungkinkan dukungan pemrosesan latensi rendah yang lebih efisien daripada di LTE.
- *Physical Layer (PHY)* menangani coding/decoding, modulasi/demodulasi, pemetaan multi-antena, dan fungsi physical-layer lainnya. Lapisan fisik menawarkan layanan ke lapisan MAC dalam bentuk saluran transportasi.

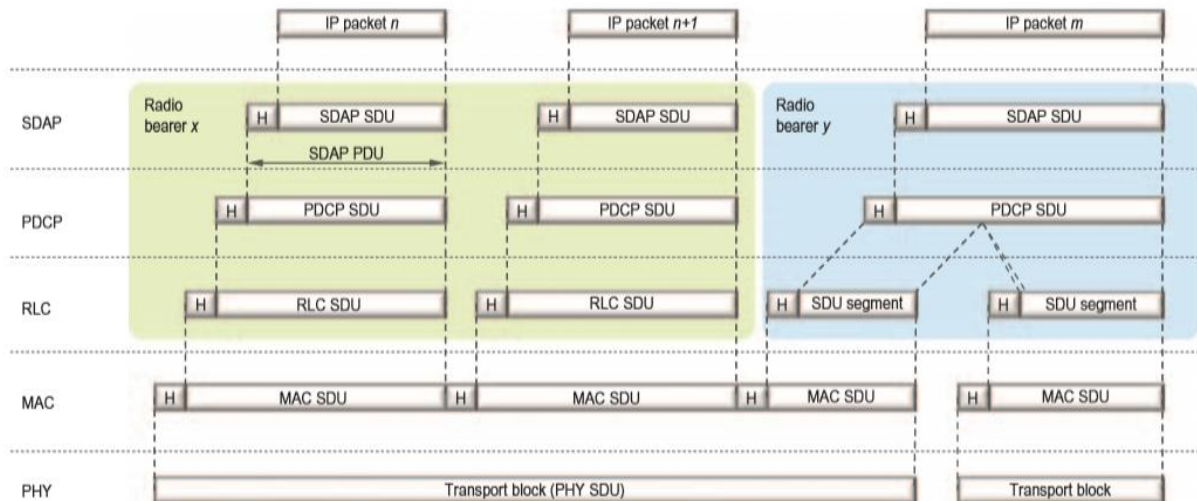


Gambar 9.18 Arsitektur protokol bidang pengguna downlink NR seperti yang terlihat dari perangkat.

Untuk meringkas aliran data downlink melalui semua lapisan protokol, contoh ilustrasi dengan tiga paket IP, dua di satu pembawa radio dan satu di lain pembawa radio, diberikan pada

Gambar 9.19. Dalam contoh ini, ada dua pembawa radio dan satu RLC SDU disegmentasi dan ditransmisikan dalam dua transportasi yang berbeda. Aliran data dalam kasus transmisi uplink serupa.

Protokol SDAP memetakan paket IP ke pembawa radio yang berbeda; dalam contoh ini paket IP n dan $n+1$ dipetakan ke pembawa radio x dan paket IP m dipetakan ke pembawa radio y . Secara umum, entitas data dari/ke lapisan protokol yang lebih tinggi dikenal sebagai Service Data Unit (SDU) dan entitas terkait ke/dari entitas lapisan protokol yang lebih rendah disebut Protocol Data Unit (PDU). Oleh karena itu, output dari SDAP adalah SDAP PDU, yang sama dengan PDCP SDU.



Gambar 9.19 Contoh aliran data bidang pengguna.

Protokol PDCP melakukan (opsional) kompresi IP-header, diikuti dengan ciphering, untuk setiap pembawa radio. Header PDCP ditambahkan, membawa informasi yang diperlukan untuk menguraikan dalam perangkat serta nomor urut yang digunakan untuk transmisi ulang dan pengiraman dalam urutan, jika dikonfigurasi. Output dari PDCP diteruskan ke RLC.

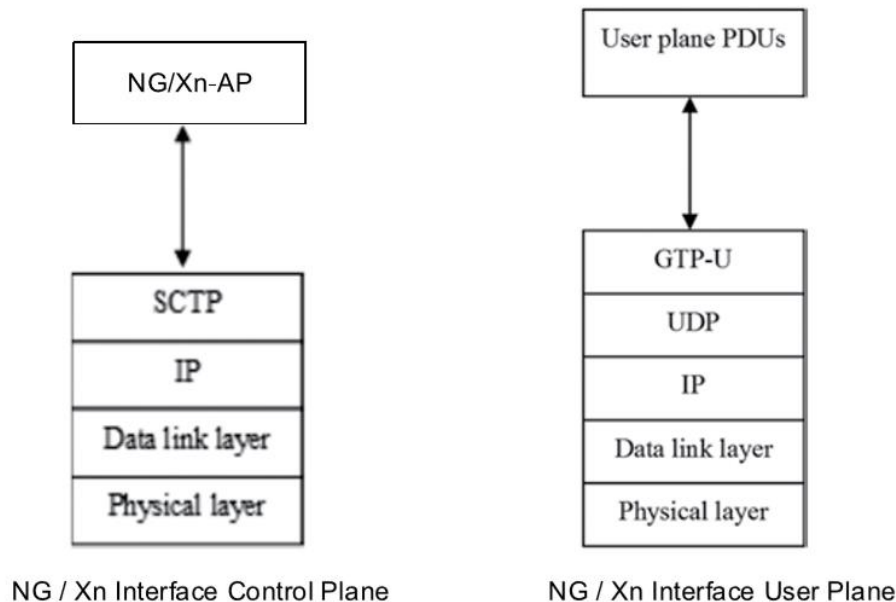
Protokol RLC melakukan segmentasi PDU PDCP jika perlu dan menambahkan header RLC yang berisi nomor urut yang digunakan untuk menyerahkan transmisi ulang. Tidak seperti LTE, NR RLC tidak menyediakan pengiriman data secara berurutan ke lapisan yang lebih tinggi. Alasannya adalah penundaan tambahan yang ditimbulkan oleh mekanisme pemesanan ulang, penundaan yang mungkin merugikan untuk layanan yang membutuhkan latensi sangat rendah. Jika diperlukan, pengiriman berurutan dapat disediakan oleh lapisan PDCP sebagai gantinya.

PDU RLC diteruskan ke lapisan MAC, yang menggandakan sejumlah PDU RLC dan melampirkan header MAC untuk membentuk blok transport. Perhatikan bahwa header MAC didistribusikan di seluruh MAC PDU, sehingga header MAC yang terkait dengan RLC PDU tertentu terletak tepat sebelum RLC PDU. Ini berbeda dengan LTE, yang memiliki semua informasi header di awal MAC PDU dan dimotivasi oleh pemrosesan latensi rendah yang efisien. Dengan struktur dalam NR, MAC PDU dapat dirakit "on the fly" karena tidak perlu merakit MAC PDU lengkap sebelum bidang header dapat dihitung. Ini mengurangi waktu pemrosesan dan karenanya latensi keseluruhan.

Sisa dari bab ini berisi gambaran umum tentang SDAP, RLC, MAC, dan lapisan fisik.

9.22 Kesimpulan

Bab ini membahas teknologi akses radio LTE-Advanced, LTE-Advanced Pro, dan 5G RN. Rincian tentang berbagai fitur LTE-Advanced dan LTE-Advanced Pro disediakan. Ini juga melihat ke fase pertama 5G (versi non-standalone) serta fase kedua (versi standalone) yang diharapkan akan distandarisasi oleh 3GPP masing-masing pada 2018 dan 2020. ITU diharapkan untuk mendukung standar 5G pada tahun 2020. Persyaratan IMT-2020, antarmuka udara 5G NR, dan arsitektur 5G RAN juga dibahas.



Gambar 9.17 Tumpukan protokol antarmuka. (Dari 3GPP TR 38.912 (V14.0.0) Studi Teknologi Akses Radio Baru (RN) 2017 Spesifikasi Teknis (Rilis 14), Grup Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, Maret^[78].)

9.23 Pertanyaan

1. Apa itu Rilis 3GPP?
2. Apa itu LTE-Advanced?
3. Apa kemungkinan skenario Agregasi Operator?
4. Apa tantangan utama yang terkait dengan Agregasi Operator?
5. Apa itu beamforming?
6. Apa perbedaan utama antara LTE dan LTE-Advanced MIMO?
7. Berapa banyak mode transmisi MIMO yang ditentukan?
8. Apa itu Relay Node?
9. Apa itu relai Tipe 1 dan Tipe 2?
10. Apa itu relay L1, L2, dan L3?
11. Bagaimana interferensi dapat dihindari dalam relai?
12. Apa itu SON?
13. Fitur utama SON mana yang ditentukan oleh 3GPP?
14. Definisikan eMBMS?
15. Tentukan pesawat pengguna dan latensi bidang kontrol?
16. Apa itu eCIC?

17. Tentukan CoMP dan keuntungan terkait?
18. Apa itu LTE-Advanced Pro?
19. Bagaimana LTE memanfaatkan spektrum yang tidak berlisensi?
20. Apa itu MIMO Dimensi Penuh?
21. Apa itu IMT-2020?
22. Apa saja tiga skenario penggunaan IMT-2020?
23. Jelaskan perbedaan utama antara IMT-Advanced dan IMT-2020?
24. Apa itu 5G NR (Radio Baru) non-standalone dan standalone?
25. Tentukan numerologi NR dan struktur rangka?
26. Jelaskan transmisi berbasis OFDM?
27. Jelaskan Arsitektur 5G RAN?

9.24 Referensi

1. Global Mobile Suppliers Association 2017. LTE-Advanced—LTE-Advanced & LTE-Advanced Pro Networks. <https://gsacom.com/paper/lte-advanced-lte-advanced-pro-networks/>
2. 3GPP 2017. About 3GPP Home. <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>
3. Asif, S. 2007. Wireless Communications Evolution to 3G and Beyond. Artech House, USA.
4. 3GPP TS 36.300 (V11.3.0) 2012. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2. Technical Specification (Release 11), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, September.
5. 5G Americas 2017. LTE to 5G: Cellular and Broadband Innovation. Rysavy Research, LLC.
6. ETSI Mobile Competence Center 2004. Overview of 3GPP Release 99—Summary of all Release 99 Features.
7. ETSI Mobile Competence Center 2004. Overview of 3GPP Release 4—Summary of all Release 4 Features.
8. ETSI Mobile Competence Center 2003. Overview of 3GPP Release 5—Summary of all Release 5 Feature.
9. ETSI Mobile Competence Center 2006. Overview of 3GPP Release 6—Summary of all Release 6 Features.
10. ETSI Mobile Competence Center 2007. Overview of 3GPP Release 7—Summary of all Release 7 Features Incomplete Draft for TSG#37. 1
11. ETSI Mobile Competence Center 2014. Overview of 3GPP Release 8, V0.3.3, September.
12. ETSI Mobile Competence Center 2014. Overview of 3GPP Release 9, V0.3.4, September.
13. ETSI Mobile Competence Center 2014. Overview of 3GPP Release 10, V0.2.1, June.
14. ETSI Mobile Competence Center 2014. Overview of 3GPP Release 11, V0.2.0, September.
15. ETSI Mobile Competence Center 2015. Overview of 3GPP Release 12, V0.2.0, September.
16. 3GPP 2015. Release 13 Analytical View Version, RP-151569, September.

17. ETSI Mobile Competence Center 2014. Overview of 3GPP Release 14, V0.0.1, September.
18. 3GPP 2017. Release 9. <http://www.3gpp.org/specifications/releases/71-release-9>
19. Nakamura, T. 2013. LTE Release 12 and Beyond. LTE Africa 2013, 3GPP.
20. 5G Americas 2015. Mobile Broadband Evolution towards 5G: Rel-12 & Rel-13 and Beyond.
21. Asif, S. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
22. Jeanette, W. 2013. LTE-Advanced. Available via 3GPP. <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advance>
23. 4G Americas 2012. 4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and Beyond—HSPA+, SAE/LTE and LTE-Advanced.
24. 4G Americas 2014. Beyond LTE: Enabling the Mobile Broadband Explosion. Rysavy Research, LLC.
25. 4G Americas 2012. Mobile Broadband Evolution: The 3GPP Wireless Evolution. Rysavy Research, LLC.
26. 3GPP TR 36.912 (V14.0.0) 2014. Feasibility Study for Further Advancements for E-UTRA (LTEAdvanced). Technical Report (Release 11), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March.
27. Zhang, H. et al. 2012. Analysis and Application of Carrier Aggregation Technology in Wireless Communications. 2012 National Conference on Information and Computer Science (C ITC S), Lanzhou, China, November 16–18, 2012, pp. 303–307.
28. Rohde & Schwarz. LTE-Advanced Carrier Aggregation. <https://www.rohde-schwarz.com/us/solutions/wireless-communications/lte/in-focus/lteadvancedcarrieraggregation73018.html?rusprivacypolicy=1>
29. Miller, L. 2016. Carrier Aggregation Fundamentals for Dummies, Qorvo Special Edition. John Wiley & Sons, Inc., USA.
30. Mobile Society Type Pad 2015. Moving Beyond the Aggregation of 5 LTE Carriers. http://mobilesociety.typepad.com/mobile_life/2015/04/moving-beyond-the-aggregation-of-5-lte-carriers.html
31. Bharmi, A., Hooli, K., and Lunttila, T. 2016. Massive Carrier Aggregation in LTE-Advanced Pro: Impact on Uplink Control Information and Corresponding Enhancements. IEEE Communications Magazine, 54(5):92–97, May.
32. Nokia Corporation, NTT DoCoMo Inc., Nokia Networks 2014. RP-142286 LTE Carrier Aggregation Enhancement Beyond 5 Carriers. 3GPP TSG RAN Meeting #66, Maui, Hawaii (US), December 8–11, 2014.
33. Asif, S.Z. 2004. Mobile Receive Diversity Technology Improves 3G Systems Capacity. IEEE Radio and Wireless Conference, Atlanta, GA, USA, September 19–22, 2004.
34. Rumney, M. 2013. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges, 2nd Edition. Wiley Inc., UK.
35. Keysight Technologies, Inc. Antenna Ports and Transmit-Receive Paths (LTE). <http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/lte/content/lteantennapathsportsexplanation.htm>
36. The 3G4G Blog 2012. LTE ‘Antenna Ports’ and their Physical Mapping. <http://blog.3g4g.co.uk/2012/05/lte-antenna-ports-and-their-physical.html>

37. Schulz, B. 2015. LTE Transmission Modes and Beamforming. Rohde & Schwarz.
38. 4G Americas 2013. MIMO and Smart Antennas for Mobile Systems.
39. Cover, T.M. and Gamal, A.E. 1979. Capacity Theorems for the Relay Channel. IEEE Transactions on Information Theory, 25(5):572–584.
40. Qualcomm 2014. LTE Advanced—Evolving and Expanding in to New Frontiers, August.
41. Qian, Y. et al. 2012. Cooperative Communications for Wireless Network: Techniques and Applications in LTE-Advanced Systems. IEEE Wireless Communications, 19(2).
42. Iwamura, M., Takahashi, H. and Nagata, S. 2010. Relay Technology in LTE-Advanced. NTT Docomo Technical Journal, 12(2):29–36.
43. 3GPP TR 36.814 (V9.0.0) 2010. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects. Technical Report (Release 9), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March.
44. Asif, S.Z. et al. 2009. Radio Frequency Repeater with Automated Block/Channel Selection. United States Patent 7,480,485.
45. Asif, S.Z. et al. 2007. Radio Frequency Repeater with Automated Block/Channel Selection. United States Patent 7,299,005.
46. Asif, S.Z. et al. 2009. Wireless Repeater and Method for Managing Air Interface Communications. United States Patent 7,480,486
47. Yang, Y. et al. 2009. Relay Technologies for WiMAX and LTE-Advanced Mobile Systems. IEEE Communications Magazine, 47(10):100–105.
48. Jamal, T., Mendes, P. and Zuquete, A. 2012. Wireless Cooperative Relaying Based on Opportunistic Relay Selection. Internastional Journal on Advances in Networks and Services, 5(1&2):116–128.
49. Nam, S., Vu, M. and Tarokh, V. 2008. Relay Selection Methods for Wireless Cooperative Communications. 42nd Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), March 19–21, 2008, Princeton University, NJ, USA.
50. Marchenko, N., Yanmaz, E., Adam, H. and Bettstetter, C. 2009. Selecting a Spatially Efficient Cooperative Relay. IEEE Global Telecommunications Conference, Hawaii, USA, November 30–December 4, 2009
51. Hu, C. et al. 2008. Network Coding in Cooperative Relay Networks. IEEE 19th Internastional Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Cannes, France, September 15–18, 2008.
52. Nohrborg, M. SON Self—Organizing Networks. 3GPP. <http://www.3gpp.org/technologies/keywordsacronyms/105-son>
53. Rhode & Schwarz, SON—Self-Organizing Networks. https://www.rohde-schwarz.com/us/solutions/wireless-communications/lte/in-focus/self-organizing-networks_229096.html
54. 3GPP TR 37.320 (V11.1.0) 2012. Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Measurement Collection for Minimization of Drive Tests (MDT); Overall description; Stage 2. Technical Report (Release 11), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, September.
55. ITU-R 2008. Report ITU-R M.2134 Requirements Related to Technical Performance for IMT-Advanced Radio Interface(s).
56. ITU-R 2017. Draft New Report ITU-R M. [IMT-2020.Tech Perf Req] Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s).

57. Roessler, A. and Kottkamp, M. 2013. LTE-Advanced (3GPP Rel.11) Technology Introduction (1MA232_1E), Rohde & Schwarz.
58. 4G Americas 2013. Mobile Broadband Evolution, The 3GPP Wireless Evolution. Rysavy Research, LLC
59. Mobile Society Type Pad 2012. What's the Difference between LTE ICIC and LTE-Advanced eICIC? http://mobilesociety.typepad.com/mobile_life/2012/03/whats-the-difference-between-lte-icic-and-lteadvanced-eicic.html
60. Qualcomm Incorporated 2011. LTE Advanced: Heterogeneous Networks.
61. Anpalagan, A., Bennis, M. and Vannithamby, R. 2016. Design and Deployment of Small Cell Networks. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
62. 3GPP TSG-RAN WG1 #66bis, R1-113566 2011. ICIC Evaluations for Different Handover Biases, Qualcomm Inc., October 10–14, 2011, Zhuhai, China.
63. 3GPP TR 36.819 V11.1.0 2012. Coordinated Multi-Point Operation for LTE Physical Layer Aspects. Technical Report (Release 11), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP.
64. 4G Americas 2012. 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 10 and Beyond. HSPA+, SAE/LTE, and LTE-Advanced.
65. 3GPP 2015. LTE-Advanced Pro Ready to Go. http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1745-lte-advanced_pro
66. RF Wireless World. LTE Advanced Vs LTE Advanced Pro-Difference between LTE Advanced and LTE Advanced Pro. <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LTE-Advanced-vs-LTE-Advanced-Pro.html>
67. 5G Americas 2017. Wireless Technology Evolution Towards 5G: 3GPP Release 13 to Release 15 and Beyond.
68. Nokia Networks 2015. LTE-Advanced Pro—Pushing LTE Capabilities Towards 5G.
69. Qualcomm Technologies, Inc. 2017. The Essential Role of Gigabit LTE & LTE Advanced Pro in a 5G World
70. 3GPP TR 36.889 (V13.0.0) 2015. Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum. Technical Report (Release 13), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, June.
71. Qualcomm Technologies, Inc. 2016. Progress on LAA and its relationship to LTE-U and MulteFire
72. Zhang, C. et al. 2014. Full-Dimension MIMO: Status and Challenges in Design and Implementation. Samsung.
73. 3GPP TR 36.897 (V13.0.0) 2015. Study on Elevation Beamforming / Full-Dimension (FD) Multiple Input Multiple Output (MIMO) for LTE. Technical Report (Release 13), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, June
74. ITU-R 2015. RESOLUTION ITU-R 56-2—Naming for International Mobile Telecommunications.
75. ITU-R 2015. Recommendation ITU-R M.2083-0—IMT Vision—Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond
76. ITU 2016. Emerging Trends in 5G/IMT2020. Geneva Mission Briefing Series, September.
77. ITU 2017. Press Release: ITU Agrees on Key 5G Performance Requirements for IMT-2020. <http://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/2017-PR04.aspx>

78. 3GPP TR 38.912 (V14.0.0) 2017. Study on New Radio (NR) Access Technology. Technical Specification (Release 14), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March
79. Qualcomm Technologies, Inc. 2016. Making 5G NR a Reality.

BAB 10

PERSYARATAN TRANSPORTASI

5G akan menghadirkan sejumlah opsi konektivitas untuk pengguna akhir dan perangkat. Konektivitas antara pengguna, antara hal-hal atau antara pengguna dan hal-hal yang disediakan melalui jaringan transmisi. Jaringan transportasi atau transmisi, seperti namanya, bertanggung jawab untuk pengiriman semua jenis lalu lintas dari sumber ke tujuan di jaringan seluler.

Jaringan transportasi dapat dipecah menjadi tiga area utama, yaitu backhaul, metro, dan transportasi inti. Bifurkasi ini hadir dalam jaringan 2G, 3G, LTE, dan 4G dan diharapkan untuk 5G juga. Tidak ada definisi standar dari domain-domain ini; namun, ini banyak digunakan dan pandangan konseptualisasi tingkat tinggi mereka ditunjukkan pada Gambar 10.1. Definisi berikut dapat dipertimbangkan untuk domain ini^[1].

- *Backhaul*: link dari base station ke lokasi agregasi lalu lintas pertama (atau hub transmisi) disebut mobile backhaul.
- *Transportasi Metro*: koneksi dari hub agregasi pertama ke simpul inti jaringan seluler dianggap sebagai transportasi metro (atau konektivitas intra kota). Node inti dapat menampung peralatan seperti MSC, MGW, SGSN, MME, dan Gateway yang dijelaskan di Bab 11.
- *Core Transport*: node inti yang tidak berada di kota yang sama dapat dihubungkan melalui sistem transportasi inti. Koneksi antarkota, konektivitas ke negara-negara tetangga melalui sarana terestrial, dan lokasi jarak jauh melalui laut termasuk dalam domain transportasi inti.

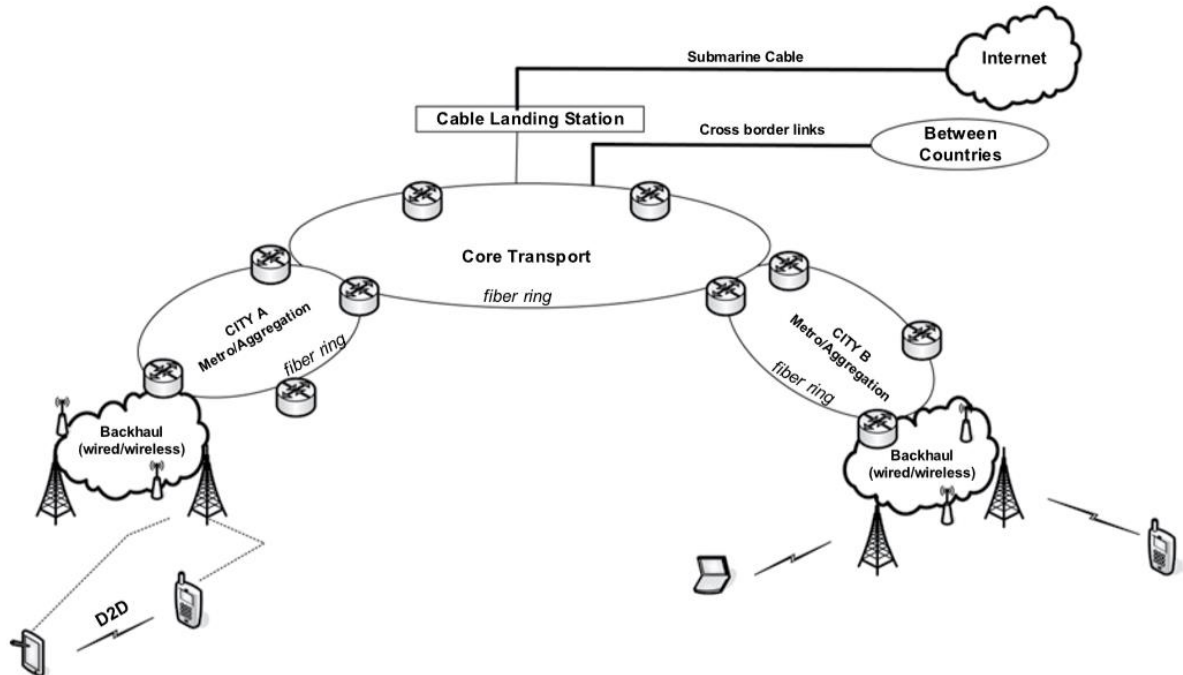
10.1 Persyaratan Transportasi 5G

Identifikasi kebutuhan kapasitas trafik 5G merupakan prasyarat bagi pengembangan jaringan transmisi. Identifikasi kapasitas ini akan mengarah pada pengembangan teknologi transmisi dan standar yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan tersebut. Sudah diketahui bahwa 5G akan membawa permintaan lalu lintas yang luar biasa dan berbagai jenis lalu lintas (eMBB, URLLC, dan mMTC),⁵¹ sehingga kebijakan satu ukuran cocok untuk semua tidak akan berfungsi. Tuntutan lalu lintas akan berbeda untuk jaringan yang berbeda di suatu negara, dalam jaringan, dan lintas negara. Bagian ini akan memberikan perkiraan tingkat tinggi dari permintaan lalu lintas 5G yang perlu dibawa oleh sistem transmisi. Estimasi dihitung menggunakan LTE sebagai baseline.

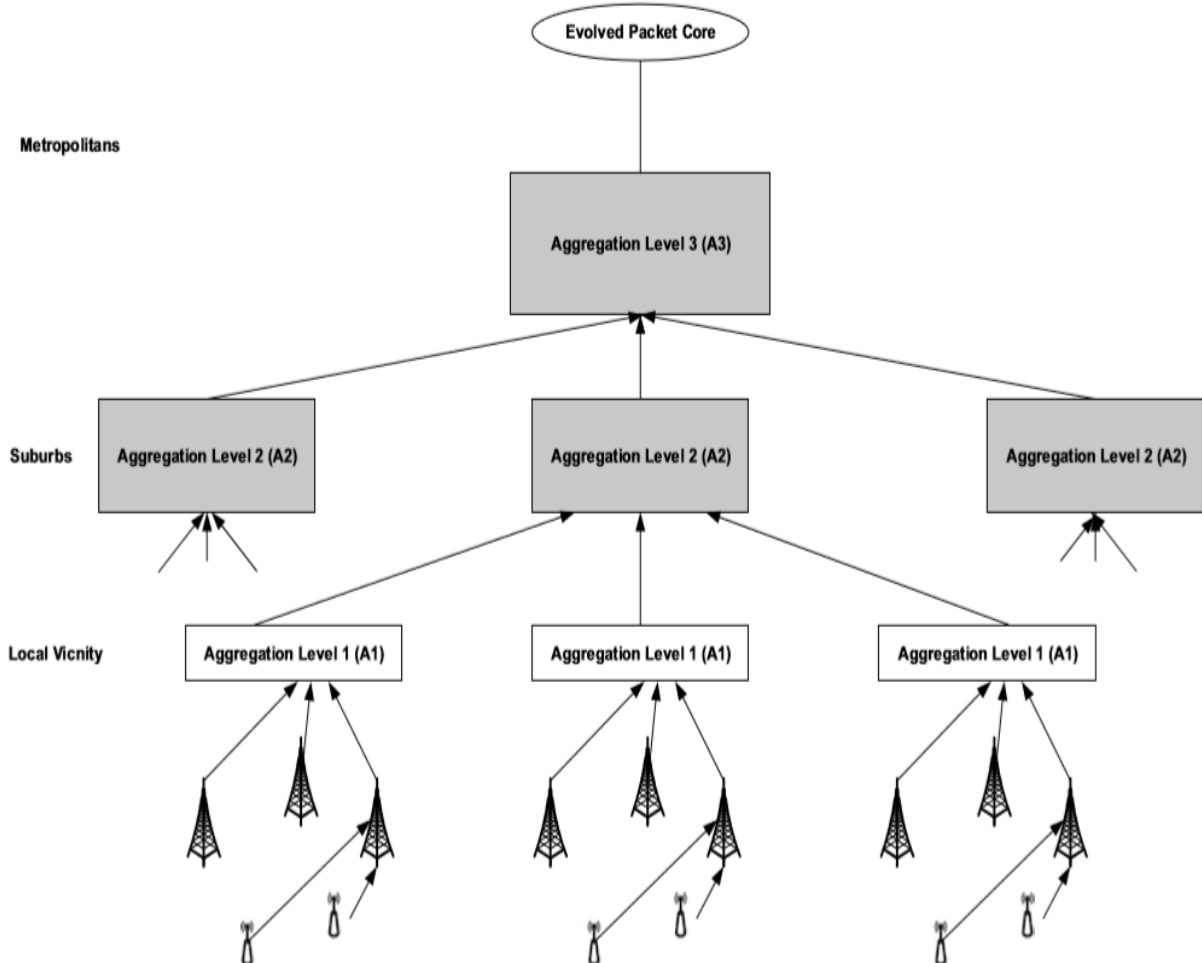
Konektivitas dari access node (base station) ke core node telah menjadi tantangan besar sejak dimulainya jaringan data seluler. Kapasitas data dari tautan semacam itu akan semakin diperburuk dalam 5G dibandingkan dengan generasi seluler sebelumnya karena banyaknya sel kecil, operasi telemetri, dan opsi konektivitas lainnya yang sejauh ini belum dipahami. Gambar 10.2 menunjukkan skenario penyebaran jaringan seluler tipikal di mana lalu lintas dijumlahkan pada setiap tingkat agregasi sebelum mencapai simpul inti. Tingkat agregasi ditentukan berdasarkan parameter geografis tertentu (batas), misalnya, simpul agregasi 1 (tingkat 1) dapat menggabungkan lalu lintas stasiun pangkalan tertentu dan sel kecil di sekitar lokal. Level 2 dapat menambahkan lalu lintas beberapa lokasi level 1, dan mungkin level

⁵¹ eMBB: Broadband Seluler yang ditingkatkan; URLLC: Komunikasi Sangat Dapat Diandalkan dan Latensi Rendah; mMTC: Komunikasi Jenis Mesin yang masif
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

pinggiran kota dan level 3 di tingkat kota akan mengakumulasi lalu lintas hub level 2 sebelum mengirim lalu lintas ke simpul seluler/inti. Dari simpul inti, lalu lintas dapat dialihkan ke kota-kota lain di dalam negeri dan juga secara global.



Gambar 10.1 Jaringan transportasi



Gambar 10.2 Topologi dimensi transmisi.

Saat ini, transmisi lalu lintas di jaringan LTE dikonfigurasi sangat mirip jika tidak persis seperti yang dijelaskan di atas. Konfigurasi ini diharapkan akan berlanjut di jaringan 5G juga. Biasanya setiap base station LTE makro (yaitu, eNode B) atau situs sel terdiri dari tiga sektor di mana total throughput base station adalah jumlah dari semua throughput sektor individu yang dikendalikan oleh eNode B tertentu. Situs sel makro mungkin juga mendukung sel kecil, sehingga dalam hal ini, throughput akan lebih besar. Di belakang, output lalu lintas dari situs sel individu tersebut terakumulasi pada titik agregasi. Koneksi dari situs sel ke titik agregasi pertama seperti yang dinyatakan sebelumnya disebut sebagai backhaul. Selanjutnya, tingkat agregasi diidentifikasi dengan label A1, A2, dan A3 dan di mana A2 dan A3 mengagregasi lalu lintas hub pendahulunya.

Tantangannya adalah dan akan memprediksi dengan benar tingkat throughput lalu lintas untuk hari ini dan setidaknya untuk beberapa tahun ke depan. Setelah itu, tantangannya adalah menemukan perpaduan yang tepat antara teknologi dan solusi transmisi kabel dan nirkabel untuk menangani lalu lintas. Ratusan studi jika tidak ribuan telah dilakukan untuk menentukan throughput dan kapasitas transmisi situs sel LTE, dan hasilnya telah berhasil diimplementasikan. Tabel 10.1 mewakili persyaratan lalu lintas untuk jaringan LTE yang ditunjukkan pada Gambar 10.2 untuk perbandingan dengan 5G. Masih menggunakan model ini, diharapkan operator perlu merencanakan kapasitas setidaknya seratus kali lebih banyak daripada saat ini di tahun-tahun awal 5G.

Konfigurasi ini memerlukan identifikasi kecepatan data puncak dan khususnya throughput data situs sel dan sejumlah parameter lain yang dijelaskan di bagian ini.

Throughput situs sel dapat ditemukan dengan mengalikan spektrum frekuensi total dengan efisiensi spektral (bps per Hertz). Throughput dari setiap base station radio sangat tergantung pada tiga faktor, yaitu bandwidth spektrum, skema modulasi, dan konfigurasi antena, dan juga bervariasi selama masa tenang dan sibuk dalam jaringan. Selama waktu sibuk, banyak pengguna/perangkat akan dilayani oleh setiap sektor dan efisiensi spektral masing-masing akan bervariasi tergantung pada kualitas tautan radio mereka. Karena beberapa pengguna akan memiliki koneksi yang lebih baik daripada yang lain dan pada saat yang sama tidak semua pengguna akan memiliki tautan radio yang buruk, throughput situs seluler akan menjadi rata-rata. Namun, di masa tenang, mungkin hanya satu pengguna/perangkat yang akan dilayani oleh seluruh situs sel dan dengan demikian efisiensi spektral dan throughput akan sepenuhnya bergantung pada pengguna/perangkat tersebut. Jika pengguna/perangkat memiliki tautan yang baik, ia dapat menggunakan seluruh spektrum frekuensi. Ini adalah kondisi yang mewakili angka headline media untuk kecepatan data puncak. Dengan demikian, dua faktor utama yang mengatur kapasitas tautan backhaul yang diperlukan adalah kecepatan data puncak dan throughput rata-rata. Perlu diingat bahwa pengukuran dimensi pada kecepatan puncak dapat menyebabkan jaringan backhaul sebagian besar kosong, tetapi ini akan memastikan kecepatan yang diiklankan. Di sisi lain, perencanaan backhaul pada throughput rata-rata akan lebih hemat biaya; namun kecepatan puncak tidak dapat dijamin^[2-6].

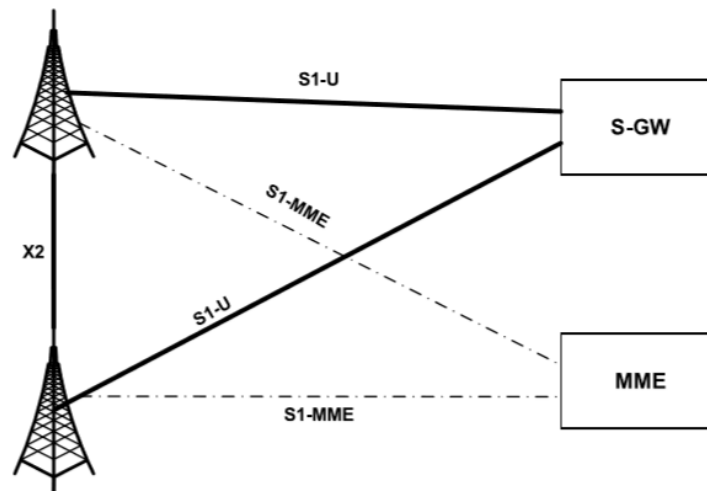
Selanjutnya, lalu lintas backhaul terdiri dari komponen tambahan selain kecepatan puncak dan throughput rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 10.3. Sejauh ini, lalu lintas pesawat pengguna S1 (eNode B to Core) terutama dibahas di bagian di atas. Faktor lainnya termasuk lalu lintas pesawat pengguna pada antarmuka X2 (eNode B ke eNode B), lalu lintas pesawat kontrol pada S1 dan X2, overhead transportasi, dan metodologi pemesanan berlebih.

Tabel 10.1 Permintaan Kapasitas Transportasi 5G versus LTE

Network Attributes	LTE with Small Cells (year 2015–16)	5G with Small Cells (year 2020–21)
Configuration (MHz)	20 MHz	100 MHz
Modulation	Modulation schemes provided by standard	Modulation schemes provided by standard
Antenna configuration	2 × 2 MIMO	4 × 4 MIMO
Average throughput per tri-sector eNodeB (Mbps)	100	–
Average throughput per tri-sector 5G Base Station (Mbps)	–	1000
Average throughput per tri-sector eNodeB with 5 small cells (Mbps)	350	–
Average throughput per tri-sector 5G base station with 5 small cells (Mbps)	–	4000
Spectral efficiency (bps/Hz/per Base Station)	2.19	5
X2 Overhead (4%)	1.04	1.04
Transport overhead with IPsec (25%)	1.25	1.25
Overbooking factor	30%	30%
Estimated base station average throughput (Mbps)	455	5200
Estimated average throughput @ first aggregation level (Mbps)	4550	52,000
Estimated average throughput @ second aggregation level (Mbps)	18,200	208,000
Estimated average throughput @ core node (Mbps)	36,400	416,000

- Antarmuka X2 mendukung interkoneksi antara eNode B dengan memungkinkan pertukaran informasi sinyal antara entitas ini bersama dengan meneruskan lalu lintas pengguna. Antarmuka ini sebagian besar membawa lalu lintas pengguna yang diteruskan selama serah terima antara eNode Bs. Meskipun volume lalu lintas X2 tidak signifikan dan bervariasi berdasarkan poin persentase tunggal, ini merupakan antarmuka penting yang perlu dipertimbangkan dalam desain backhaul.
- Pensinyalan bidang kontrol pada S1 dan X2 dapat dianggap diabaikan dibandingkan dengan lalu lintas pesawat pengguna terkait dan dapat diabaikan. Hal yang sama berlaku untuk pensinyalan OAM (Operations, Administration, and Maintenance) dan sinkronisasi.
- Overhead transportasi dikaitkan dengan enkapsulasi data karena lalu lintas dibawa melalui EPC. Volume enkapsulasi ini juga bervariasi dan dapat diatur sekitar 25% dengan dan 15% tanpa IPsec. IPsec ditentukan oleh 3GPP untuk perlindungan dan keamanan data^[7,8].
- Penyebaran jaringan LTE didasarkan pada parameter yang disebut faktor pemesanan berlebih. Faktor pemesanan berlebih berkaitan dengan jumlah rata-rata pelanggan yang dapat berbagi unit saluran tertentu. Karena perangkat LTE terdistribusi secara statistik dalam sektor radio dan tidak diharapkan untuk mengunduh pada kecepatan puncak maksimum sepanjang waktu, kapasitas backhaul dapat dibagi dan dipesan berlebih di antara masing-masing sektor. Semakin sibuk sel makro, semakin rendah faktor pemesanan berlebih yang diperlukan. Untuk situs dengan penggunaan rendah, faktornya dapat ditingkatkan dengan aman.

Bab ini terutama akan membahas beberapa teknologi kunci yang muncul untuk jaringan transportasi. Backhaul seluler adalah tantangan utama yang diidentifikasi untuk jaringan 5G. Bab ini akan fokus pada radio gelombang mikro berkapasitas tinggi atau radio e-band dan teknologi MPLS-TP (Multi Protocol Label Sw ITC hing-Transport Profile) layer 2 yang populer. Akhirnya, opsi untuk konvergensi IP dan optik bersama dengan tantangan dan pendukung akan disajikan.



Gambar 10.3 LTE dengan antarmuka utama.

10.2 Backhaul Seluler

Backhaul adalah area yang menantang untuk setiap jaringan seluler saat ini dan juga telah diidentifikasi sebagai area utama pengembangan jaringan 5G. Untuk menangani kapasitas 1000 Mbps per situs sel 5G seperti yang ditunjukkan dalam penelitian dan ditunjukkan pada Tabel 10.1, jelas bahwa sektor telekomunikasi perlu melihat melampaui radio gelombang mikro tradisional saat ini.

Radio gelombang mikro tradisional ini, yang beroperasi dari 6 hingga 42 GHz, tidak dapat menangani kapasitas gigabit seperti yang dibutuhkan oleh jaringan 5G. Pita layanan tetap yang lebih rendah ini telah dibagi menjadi raster saluran tetap yang biasanya memiliki lebar 56 MHz atau kurang dan hanya mampu membawa beberapa 100 Mbps per modem, membuatnya tidak cocok untuk jaringan 5G. Perlu juga dicatat bahwa pita frekuensi gelombang mikro tradisional ini menjadi sangat padat dan memperoleh saluran bandwidth 56 MHz atau 112 MHz menjadi semakin sulit.

Selain itu, penetrasi serat ke dalam ruang backhaul di jaringan seluler saat ini sangat terbatas di tingkat global. Ini membuat kasus lebih rumit dan menantang untuk jaringan IMT atau 5G di masa depan. Namun, satu solusi yang mungkin mungkin adalah penggunaan pita gelombang milimeter yang beroperasi pada kisaran 60–100 GHz. Dalam pita seperti itu, bandwidth saluran radio bisa jauh lebih besar (misalnya, 250 MHz) dan dapat memberikan kapasitas yang jauh lebih besar daripada pita gelombang mikro tradisional. Salah satu kemungkinan tersebut, yaitu radio e-band yang beroperasi pada spektrum 71-76 dan 81-86 GHz, akan dibahas pada bagian berikutnya.

10.2.1 Integrasi Akses Backhaul

Penggunaan teknologi nirkabel untuk backhaul telah digunakan secara luas selama bertahun-tahun. Di beberapa wilayah di dunia, backhaul nirkabel merupakan lebih dari 50% dari total backhaul. Solusi backhaul nirkabel saat ini biasanya didasarkan pada teknologi berpemilik (non-standar) yang beroperasi sebagai tautan line-of-sight point-to-point menggunakan pita frekuensi khusus di atas 10 GHz. Dengan demikian, backhaul nirkabel menggunakan teknologi yang berbeda dan beroperasi dalam spektrum yang berbeda, dibandingkan dengan tautan akses (stasiun basis/perangkat). Relay, diperkenalkan pada rilis 10 LTE, pada dasarnya adalah link backhaul nirkabel, meskipun dengan beberapa batasan. Namun, sejauh ini belum

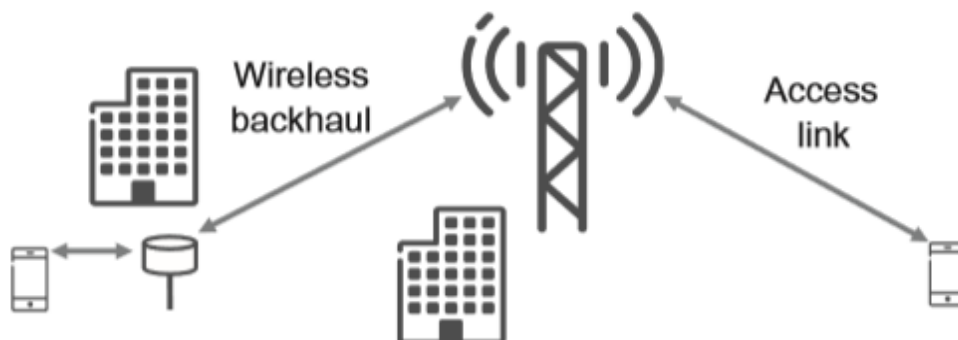
digunakan dalam praktik secara signifikan. Salah satu alasannya adalah bahwa penyebaran sel kecil yang terhubung secara nirkabel, yang dirancang untuk relai, belum banyak digunakan dalam praktik. Alasan lain adalah bahwa operator lebih suka menggunakan spektrum frekuensi rendah mereka yang berharga untuk tautan akses. Seperti yang telah disebutkan, backhauling nirkabel saat ini bergantung pada teknologi non-LTE yang mampu mengeksploitasi pita frekuensi secara signifikan lebih tinggi daripada LTE, sehingga menghindari pemborosan spektrum akses yang berharga untuk tujuan backhaul.

Namun, untuk NR, konvergensi backhaul dan akses dapat diharapkan karena beberapa alasan:

- Tautan akses dapat memanfaatkan frekuensi gelombang mm—yaitu, rentang frekuensi yang sama yang saat ini digunakan untuk backhaul nirkabel.
- Densifikasi jaringan seluler yang diharapkan, dengan banyak stasiun pangkalan yang terletak di dalam dan luar ruangan di permukaan jalan, akan membutuhkan backhaul nirkabel yang mampu beroperasi di bawah kondisi non-line-of-sight dan, lebih umum, kondisi propagasi yang sangat mirip dengan tautan akses .

Persyaratan dan karakteristik link backhaul nirkabel dan link akses dengan demikian konvergen. Intinya, dengan mengacu pada Gambar. 20.1, secara radio, tidak ada perbedaan besar antara link backhaul nirkabel dan link nirkabel normal. Akibatnya, ada alasan kuat untuk mempertimbangkan konvergensi juga dalam hal teknologi dan spektrum dengan teknologi akses radio tunggal yang dapat digunakan untuk akses dan backhaul nirkabel. Sebaiknya juga ada kumpulan spektrum umum untuk tautan akses dan backhaul nirkabel. Perlu juga dicatat bahwa kumpulan spektrum umum untuk akses dan backhaul nirkabel tidak berarti bahwa tautan akses dan tautan backhaul nirkabel harus beroperasi pada frekuensi pembawa yang sama (“relay inband”). Dalam beberapa kasus, ini akan mungkin. Namun, dalam kasus lain, lebih disukai memiliki pemisahan frekuensi antara tautan backhaul dan tautan akses. Kuncinya adalah bahwa pemisahan spektrum antara backhaul dan akses harus, sebanyak mungkin, tidak menjadi masalah regulasi. Sebaliknya, operator harus memiliki akses ke kumpulan spektrum tunggal. Kemudian keputusan operator bagaimana menggunakan spektrum ini dengan cara terbaik mungkin dan bagaimana membaginya antara akses dan backhaul.

Untuk mengatasi skenario backhaul, item studi tentang akses-backhaul terintegrasi ^[1] adalah bagian dari rilis 15 untuk menilai kemungkinan dan teknik penggunaan NR untuk tujuan backhaul. Akses radio NR dipersiapkan dengan baik untuk mendukung tautan backhaul dan sebagian besar pekerjaan yang diperlukan adalah pada protokol lapisan yang lebih tinggi.



Gambar 10.4a Wireless backhaul versus akses link

10.2.2 Operasi dalam Spektrum Tanpa Izin

Spektrum adalah dasar untuk komunikasi nirkabel dan ada pencarian tanpa akhir untuk lebih banyak spektrum untuk memenuhi tuntutan yang terus meningkat dari peningkatan kapasitas dan kecepatan data yang lebih tinggi. Ini adalah salah satu alasan untuk mendukung frekuensi pembawa yang lebih tinggi di NR. Rilis pertama NR terutama dirancang untuk spektrum berlisensi. Spektrum tersebut menawarkan banyak keuntungan karena operator dapat merencanakan jaringan dan mengontrol interferensi. Spektrum berlisensi dengan demikian berperan penting untuk memberikan jaminan kualitas layanan dan cakupan area yang luas. Namun, jumlah spektrum berlisensi yang dapat diakses oleh operator mungkin tidak cukup dan biasanya ada biaya yang terkait dengan memperoleh lisensi spektrum.

Spektrum yang tidak berlisensi, di sisi lain, terbuka bagi siapa saja untuk digunakan tanpa biaya, tunduk pada seperangkat aturan, misalnya pada daya transmisi maksimum. Karena siapa pun dapat menggunakan spektrum, situasi interferensi biasanya jauh lebih tidak terduga daripada spektrum berlisensi. Akibatnya, kualitas layanan dan ketersediaan tidak dapat dijamin. Selain itu, daya transmisi maksimumnya sederhana, sehingga tidak cocok untuk jangkauan area yang luas. Wi-Fi dan Bluetooth adalah dua contoh sistem komunikasi yang memanfaatkan spektrum tanpa izin dalam rentang frekuensi yang lebih rendah: 2,4 GHz atau 5 GHz. Selain itu, beberapa pita frekuensi tinggi yang kemungkinan akan ditangani oleh NR tidak berlisensi.

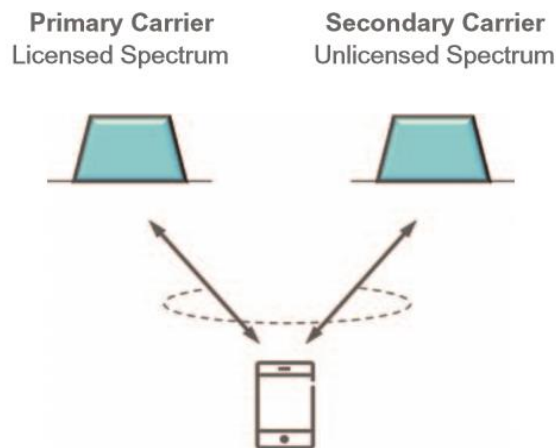
Dari pembahasan di atas, dapat diketahui bahwa kedua jenis spektrum ini memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda. Pilihan yang menarik adalah menggabungkan keduanya sehingga spektrum berlisensi digunakan untuk memberikan cakupan area luas dan jaminan kualitas layanan, dengan spektrum tidak berlisensi digunakan sebagai pelengkap area lokal untuk meningkatkan kecepatan data pengguna dan kapasitas keseluruhan tanpa mengorbankan cakupan keseluruhan, ketersediaan, dan keandalan. Ini telah dilakukan sebagai bagian dari evolusi LTE, lihat License-Assisted Access (LAA) di Bab 4 dan Gambar 10.4b. Untuk NR, studi tentang Access to Unlicensed Spectrum berbasis NR [9] adalah bagian dari rilis 15 dengan spesifikasi pekerjaan yang menargetkan rilis 16.

Meskipun NR rilis 15 tidak mendukung spektrum yang tidak berlisensi, itu dipertimbangkan dalam pengembangan kerangka kerja NR dasar. Salah satu contoh di sini adalah kemungkinan untuk mentransmisikan melalui sebagian kecil dari slot. Oleh karena itu, memperluas NR ke dalam operasi seperti LAA relatif sederhana, menggunakan fleksibilitas yang ada dan mengikuti pendekatan yang dikembangkan untuk LTE.

Salah satu karakteristik penting dari operasi dalam spektrum tidak berlisensi, yang diperhitungkan dalam pekerjaan LTE/LAA, adalah pembagian spektrum yang tidak berlisensi secara adil dengan operator lain dan sistem lain, khususnya Wi-Fi. Ada beberapa mekanisme yang dapat digunakan untuk mengaktifkan ini. Pemilihan frekuensi dinamis (DFS), di mana node jaringan mencari dan menemukan bagian dari spektrum tidak berlisensi dengan beban rendah, dapat digunakan untuk menghindari sistem lain jika memungkinkan. Mekanisme Listen-before-talk (LBT), di mana pemancar memastikan tidak ada transmisi yang sedang berlangsung pada frekuensi pembawa sebelum transmisi, adalah mekanisme lain yang terbukti baik pada pita frekuensi rendah yang dapat ditambahkan ke NR. Untuk pita frekuensi tinggi, di mana pembentukan sinar ekstensif biasanya digunakan, mekanisme LBT mungkin memerlukan beberapa modifikasi.

saya modifikasi. Di luar akses bantuan lisensi ke spektrum tidak berlisensi, solusi lengkap untuk operasi mandiri dalam spektrum tidak berlisensi juga dapat dibayangkan. Ini jelas

membutuhkan mekanisme untuk pengiriman sistem-informasi dan mobilitas yang mampu menangani spektrum yang tidak berlisensi.



Gambar 10.4b Akses dengan bantuan lisensi

10.2.3 Akses Multipel Non-Ortogonal

NR terutama menggunakan akses ganda ortogonal di mana perangkat yang berbeda dipisahkan dalam waktu dan/atau frekuensi. Namun, akses non-ortogonal berpotensi meningkatkan kapasitas dalam beberapa skenario. Selama tahap awal pengembangan NR, akses ganda non-ortogonal (NOMA) dipelajari secara singkat tetapi diprioritaskan. Namun demikian, studi tentang NOMA sedang berlangsung di rilis 15 dan mungkin menjadi relevan untuk NR di rilis selanjutnya.

10.3 Radio Microwave E-Band

Serat tidak dapat diletakkan untuk setiap struktur fisik dan untuk setiap situs sel yang hampir menjamin pengalaman broadband terbaik. Ini berarti bahwa media nirkabel masih diperlukan untuk backhauling lalu lintas 5G yang akan berjumlah gigabit per situs sel.

Radio gelombang mikro yang beroperasi pada pita frekuensi yang disebutkan di atas dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan backhaul 5G. Spektrum frekuensi ini adalah bagian dari pita milimeter yang dimulai pada 30 GHz dan berakhir pada 300 GHz (ITU EHF [Frekuensi Sangat Tinggi]) dan di mana panjang gelombang ruang bebas yang sesuai berkisar antara 10 hingga 1 mm. Penelitian tentang teknologi gelombang milimeter dimulai pada tahun 1890-an dan banyak pekerjaan dilakukan melalui Perang Dunia II^[9]. Kurva yang sangat terkenal menunjukkan penyerapan atmosfer rata-rata gelombang milimeter diterbitkan oleh Rosenblum pada tahun 1961^[10]. Kurva ini, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.4, tidak diragukan lagi telah digunakan dalam sejumlah artikel, laporan, dan buku sejak awal.

Namun, baru pada awal abad ini dunia mulai melihat aktivitas standardisasi pada gelombang milimeter. Di bidang peraturan, FCC AS mengalokasikan frekuensi 71–76, 81–86 dan 92–95 GHz untuk penggunaan komersial pada tahun 2003. Selama tahun 2007, Ofcom Inggris juga menetapkan aturan untuk mempromosikan pengembangan sektor swasta untuk frekuensi ini. Pengembangan radio 70/80 GHz untuk komunikasi bergerak dimulai pada 1990-an dan menjadi kenyataan pada 2000-an.

Sisa bagian ini akan melihat ke dalam aspek teknologi, radio, dan produk, rekayasa tautan, pengujian, skenario aplikasi, dan menyajikan studi kasus.

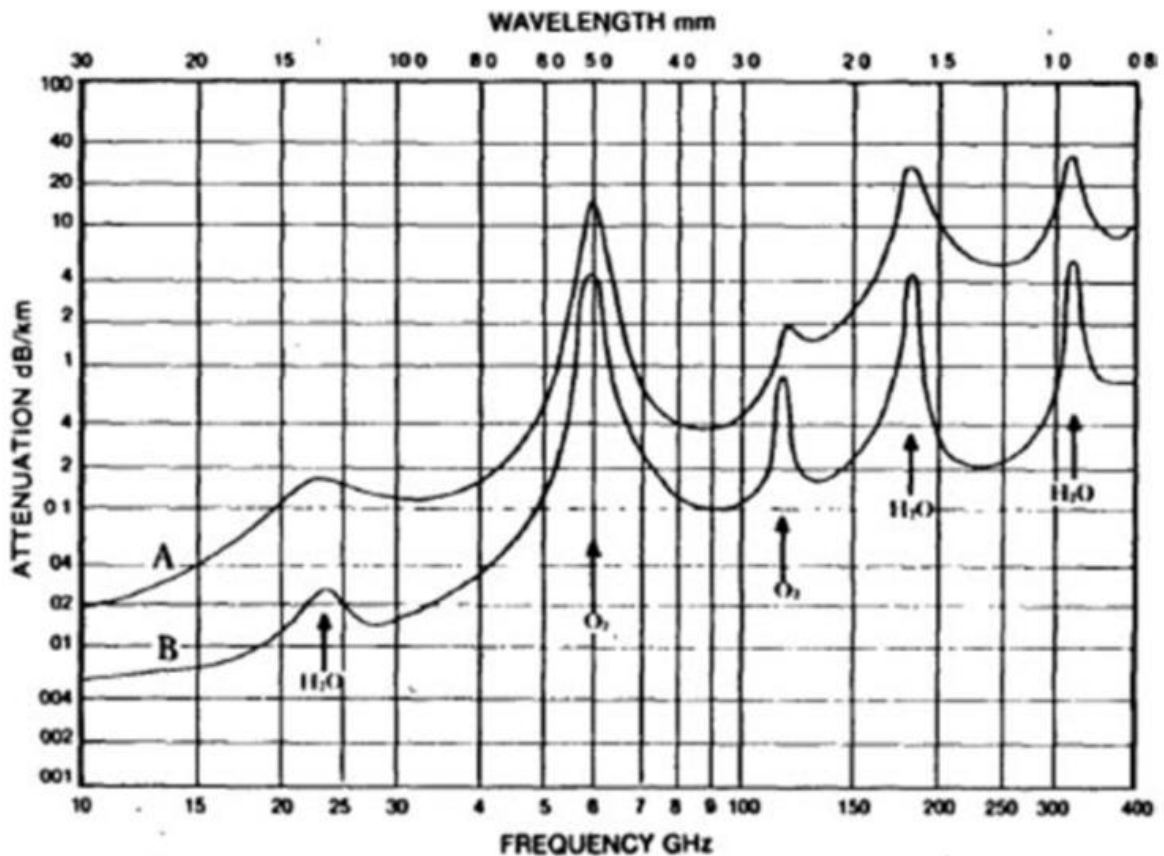


Fig. 2. Average atmospheric absorption of millimeter waves (from [40]).

A: Sea level	B: 4 km
$T = 20^{\circ}\text{C}$	$T = 0^{\circ}\text{C}$
$P = 760 \text{ mm}$	$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/m}^3$
$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 7.5 \text{ g/m}^3$	

Gambar 10.4 Rata-rata penyerapan atmosfer dari gelombang milimeter. (Dari Rosenblum, E.S. 1961. *Microwave Journal*, 4:91–96, Maret 1961^[10].)

10.4 Teknologi Radio E-Band

ECC (Komite Komunikasi Elektronik) dalam CEPT (Konferensi Administrasi Pos dan Telekomunikasi Eropa) dan ETSI memimpin dalam menentukan pengaturan saluran frekuensi, atribut peralatan, dan karakteristik teknis lainnya⁵². Khususnya, Rekomendasi ECC (05)07^[11] yang diterbitkan pada tahun 2009 mendefinisikan pengaturan saluran untuk sistem titik-ke-titik tetap yang beroperasi pada pita frekuensi yang disebutkan. Pita 5 GHz di setiap arah dibagi menjadi sembilan belas (19) saluran. Setiap saluran tersebut memiliki lebar 250 MHz dan dua atau lebih saluran dapat digabungkan untuk membentuk saluran tunggal dengan ukuran yang lebih besar. Ukuran saluran ini cukup besar dibandingkan dengan unit radio gelombang mikro yang digunakan secara luas yang beroperasi dengan saluran lebar 7–56 MHz. Saluran yang ditentukan dapat digunakan untuk membentuk sistem TDD atau FDD dalam pita tunggal atau dalam kombinasi dengan dua pita, masing-masing.

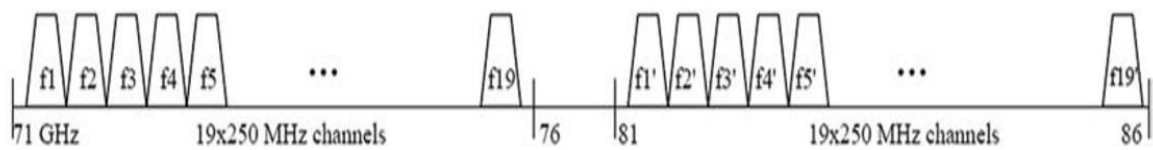
Prinsip penggunaan saluran dari dalam pita 71-76 dan 81-86 GHz dalam pengaturan FDD dupleks tunggal dijelaskan pada Gambar 10.5.

⁵² ECC mengembangkan peraturan untuk penggunaan spektrum frekuensi radio yang efektif di Eropa, sedangkan ETSI mengembangkan standar untuk sistem dan peralatan komunikasi radio.

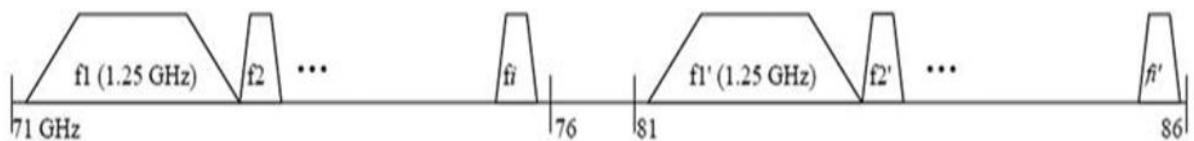
Pendekatan alternatif adalah agregasi saluran di mana kelipatan saluran 250 MHz digabungkan menjadi saluran FDD dengan pemisahan dupleks sama dengan atau lebih dari 10 GHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.6.

10.4.1 Kapasitas Interface Radio

Elemen teknologi kedua adalah kapasitas antarmuka radio (RIC) yang sangat tergantung pada skema modulasi. Spesifikasi ETSI EN 302 217-3^[12] berguna untuk menjelaskan karakteristik dan persyaratan untuk sistem radio tetap digital point-to-point yang beroperasi pada pita frekuensi yang lebih tinggi (termasuk frekuensi yang sedang dibahas). Standar mendefinisikan enam status modulasi yang berbeda sebagai kelas efisiensi spektral sistem operasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.2, namun, tidak ada batasan yang pasti pada kapasitas dan format modulasi seperti yang ditunjukkan pada^[13].



Gambar 10.5 Menggabungkan saluran dari pita 71–76/81–86 GHz ke dalam pengaturan FDD tunggal dengan pemisahan dupleks 10 GHz. (Dari Rekomendasi ECC (05)07 2009. Pengaturan Saluran Frekuensi Radio untuk Sistem Layanan Tetap yang Beroperasi di Pita 71–76 dan 81–86 GHz, ECC dengan CEPT [11].)



Gambar 10.6 Contoh penggabungan beberapa saluran 250 MHz, mungkin di samping saluran lebar asli 250 MHz. (Dari Rekomendasi ECC (05)07 2009. Pengaturan Saluran Frekuensi Radio untuk Sistem Layanan Tetap yang Beroperasi di Pita 71–76 dan 81–86 GHz, ECC dengan CEPT^[11].)

Tabel 10.2 Kelas Operasi Efisiensi Spektral Sistem yang Digunakan dalam Klausa ini

Spectral Efficiency Class	128 States Modulation	64 States Modulation	32 States Modulation	16 States Modulation	4 States Modulation	2 States Modulation
	5 (128)	5 (64)	4H	4L	2	1

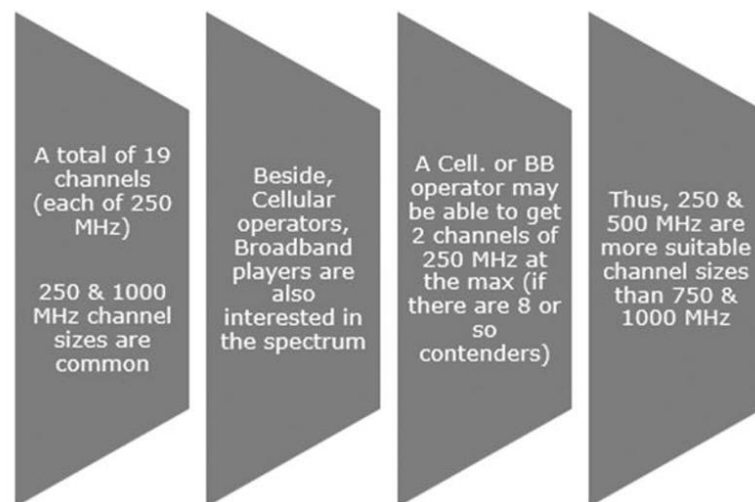
Sumber: ETSI EN 302 217-3 (V1.3.1) 2009. Sistem Radio Tetap; Karakteristik dan Persyaratan Peralatan dan Antena Point-toPoint; Bagian 3: Peralatan yang Beroperasi di Pita Frekuensi di mana Penyebaran Frekuensi Terkoordinasi atau Tidak Terkoordinasi Dapat Diterapkan; EN Harmonisasi yang Meliputi Persyaratan Penting Pasal 3.2 Arah R&TTE, ETSI^[12].

Catatan: Format modulasi hanya untuk referensi (skema modulasi lain dapat digunakan).

Tabel 10.3 Nilai RIC Khas untuk Kelas Efisiensi Spektral

Aggregate Channel (MHz)	Typical RIC Values (Mbit/s)					
	Class 5(128)	Class 5(64)	Class 4H	Class 4L	Class 2	Class 1
250	1000	900	750	600	300	150
500	2000	1800	1500	1200	600	300
750	3000	2700	2250	1800	900	450
1000	4000	3600	3000	2400	1200	600
1250	5000	4500	3750	3000	1500	750
1500	6000	5400	4500	3600	1800	900
1750	7000	6300	5250	4200	2100	1050
2000	8000	7200	6000	4800	2400	1200
2250	9000	8100	6750	5400	2700	1350
2500	10,000	9000	7500	6000	3000	1500
2750	11,000	9900	8250	6600	3300	1650
3000	12,000	10,800	9000	7200	3600	1800
3250	13,000	11,700	9750	7800	3900	1950
3500	14,000	12,600	10,500	8400	4200	2100
3750	15,000	13,500	11,250	9000	4500	2250
4000	16,000	14,400	12,000	9600	4800	2400
4250	17,000	15,300	12,750	10,200	5100	2550
4500	18,000	16,200	13,500	10,800	5400	2700
4750	19,000	17,100	14,250	11,400	5700	2850

Sumber: ETSI EN 302 217-3 (V1.3.1) 2009. Sistem Radio Tetap; Karakteristik dan Persyaratan Peralatan dan Antena Point-to-Point; Bagian 3: Peralatan yang Beroperasi di Pita Frekuensi Di mana Penyebaran Frekuensi Terkoordinasi atau Tidak Terkoordinasi Dapat Diterapkan; EN Harmonisasi yang Meliputi Persyaratan Penting Pasal 3.2 Arahan R&TTE, ETSI^[12].



Gambar 10.7 Bandwidth saluran teknologi E-band.

10.4.2 Jarak Saluran Radio

Elemen yang sangat penting yang menentukan kinerja radio e-band adalah ukuran saluran yang sangat besar dibandingkan dengan sistem gelombang mikro tradisional. Di pita bawah (6–42 GHz), pengaturan saluran tipikal berada dalam kelipatan 3,5 MHz, yaitu 14, 28, 56 dan 112 MHz, seperti yang dinyatakan sebelumnya. Jadi, bahkan dengan skema modulasi tinggi, kapasitas tautan radio per modem kurang dari 300 Mbps. Keuntungannya, bagaimanapun, dengan ukuran saluran yang lebih kecil adalah banyak operator yang dapat diakomodasi.

Sebaliknya, bandwidth saluran minimum radio e-band adalah 250 MHz yang dapat menyediakan kapasitas lebih dari 150 Mbps. Sampai saat ini, hanya ukuran saluran 250 dan 1000 MHz yang tersedia dalam produk, sehingga hanya beberapa operator (mungkin dua atau tiga pemain seluler/broadband per pasar) yang bisa mendapatkan spektrum (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.7). Misalnya, penetapan frekuensi 1000 MHz (yaitu, penggabungan empat saluran 250 MHz) dapat diberikan hanya kepada empat pemain seluler/broadband sementara satu penyedia layanan dapat mengizinkan tiga saluran 250 MHz di pasar, sehingga mengurangi kesesuaian radio e-band. Operator seluler atau broadband mungkin bisa mendapatkan 2 saluran maksimum 250 MHz jika ada 8 atau lebih pesaing. Namun, kapasitas saluran 250 MHz kurang mempertimbangkan ukurannya dan relatif terhadap radio gelombang mikro tradisional.

Maka untuk menjawab tantangan utama ini, ukuran saluran 250 dan 500 MHz mulai muncul di pasar dengan kapasitas yang lebih baik dan lebih tinggi seperti yang diklaim oleh beberapa produsen. Misalnya, produsen mengklaim mendukung 2,5 Gbps dalam saluran 500 MHz dengan modulasi 64-QAM. Dengan demikian, jika terbukti, industri akan memiliki sejumlah saluran dan kapasitas yang memadai untuk menjawab tuntutan pasar.

10.4.3 Parameter Utama Lainnya

Standar ETSI EN 302 217-3 juga telah menetapkan tingkat kepadatan daya penerima (RSL) untuk BER (tingkat kesalahan bit) 106 dan 108 serta sensitivitas interferensi saluran bersama dan saluran yang berdekatan. Beberapa parameter kunci lainnya termasuk^[12]:

- EIRP Maksimum (Equivalent Isotropic Radiated Power)⁵³: $\leq +85$ dBm (Decibel-milliwatt) untuk Gant 55 dBi (Decibel-isotropic)
- Gain Antena Minimum Gant: 38 dBi
- Daya keluaran pemancar maksimum: +35 dBm (ini adalah daya pancar maksimum yang mungkin, termasuk toleransi, yang dikirimkan ke konektor antena)

10.4.4 Lisensi Radio

Radio gelombang mikro e-band dapat dilisensikan menggunakan teknik lisensi ringan. Teknik-teknik ini mencerminkan kemudahan koordinasi, pendaftaran, dan lisensi, serta menetapkan biaya lisensi yang menutupi biaya administrasi, tetapi tidak membebani kecepatan data dan bandwidth tinggi yang diperlukan untuk layanan 5G^[15].

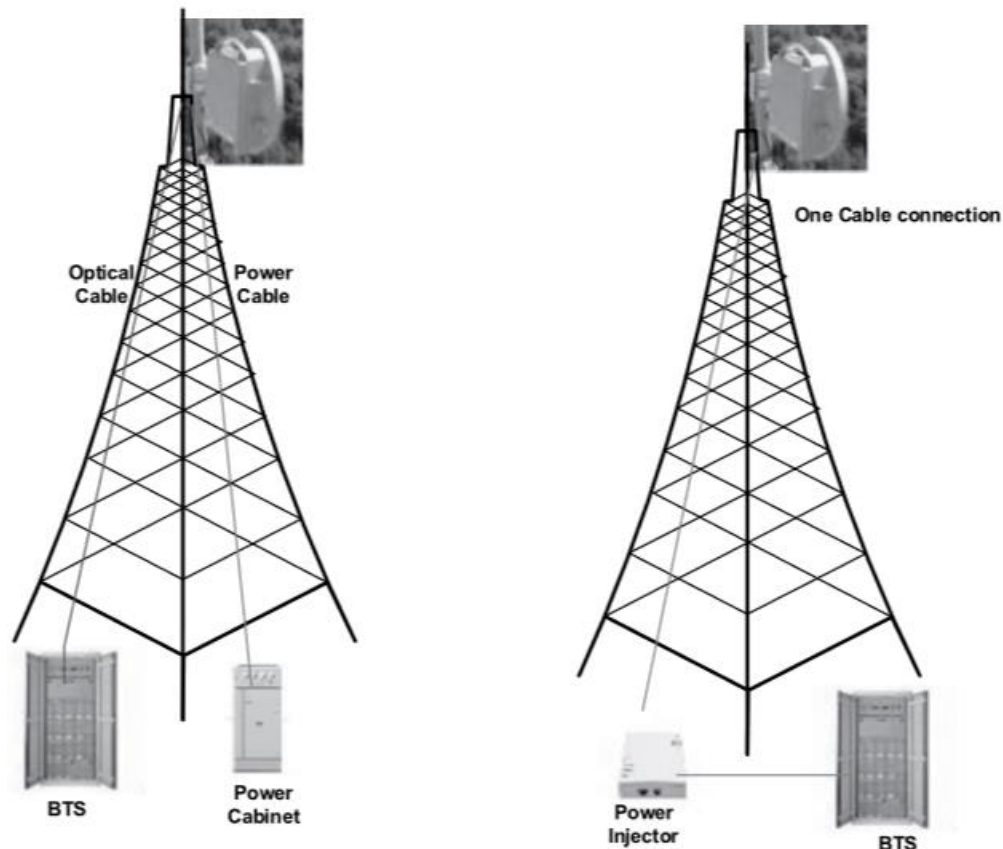
Penugasan dalam e-band dapat dilakukan secara link by link berdasarkan first come first serve. Regulator dapat mengelola database tautan yang disetujui di domain publik. Pelamar baru dapat melamar tugas dengan mempertimbangkan tugas yang ada dan melindungi tugas sebelumnya. Regulator dapat melakukan arbitrase di mana kasus gangguan diidentifikasi. Biaya lisensi tradisional berdasarkan jumlah transmisi data atau penggunaan bandwidth akan menghasilkan tarif yang bisa sangat tinggi untuk sistem tersebut. Dengan demikian, perizinan ringan menghadirkan pendekatan sederhana untuk mengatasi tantangan ini.

10.5 Aspek Produk E-Band

Sistem radio dirancang dengan metode dan teknologi yang dapat menghasilkan frekuensi yang diinginkan dengan daya yang cukup dan metode modulasi untuk membawa informasi

⁵³ EIRP mengacu pada daya terpancar relatif terhadap antena isotropik yang gain antena pancaNRya adalah 1 [14].

yang diinginkan. Sebuah radio microwave khas terdiri dari IDU (unit dalam ruangan), ODU (unit luar ruangan), dan antena (piringan). ODU terhubung ke IDU melalui kabel IF (Intermediate Frequency) dan juga disambungkan ke piringan untuk konektivitas dengan radio lain. ODU terdiri dari sirkuit baseband dan modulator/demodulator sedangkan IDU berkomunikasi dengan BTS (misalnya, eNodeB). Jarak tipikal antara IDU dan ODU dapat berkisar antara 70–150 kaki^[16,17].



Gambar 10.8 Pengaturan radio E-band. (Dari Asif, S.Z. 2015. Jurnal Internasional Teknologi Nirkabel dan Gelombang Mikro, 2015(4):37–46^[17].)

Berlawanan dengan unit microwave tradisional, radio e-band tidak memiliki IDU. Seluruh sirkuit dalam ODU yang terpasang ke antena (piringan) 30 atau 60 cm. Antena memiliki gain yang besar dibandingkan dengan antena pita frekuensi yang lebih rendah dengan ukuran yang sama yang membantu dalam mengatasi kerugian yang terkait dengan hujan. Kabel power over Ethernet (satu koneksi kabel) berjalan dari unit melalui power injector* ke BTS (misalnya, eNodeB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.8. Kabel membawa tiga set informasi, yaitu informasi operasi dan pemantauan, lalu lintas Ethernet, dan daya. Pengaturan lain yang mungkin adalah menjalankan kabel optik dari ODU ke BTS untuk informasi lalu lintas dan pemantauan dan kabel daya DC terpisah (–48V) dari ODU ke kabinet daya.

ODU dengan semua antarmuka, elektronik, dan sirkuit yang diperlukan tertutup dalam sasis tahan cuaca. Sistem radio keseluruhan terdiri dari dua radio yang mengirimkan satu sama lain dalam pasangan saluran dupleks penuh (dalam kasus FDD), menyediakan konektivitas Ethernet point-to-point antara dua lokasi.

Balok sempit tautan gelombang milimeter memungkinkan penyebaran beberapa tautan independen dalam jarak dekat. Sebagai contoh,^[18] menunjukkan bahwa dengan

menggunakan antena yang setara, lebar berkas dari tautan 70 GHz adalah empat kali lebih sempit dari tautan 18 GHz, sehingga menyediakan 16 kali kerapatan tautan gelombang milimeter e-band. di daerah tertentu.

10.5.1 Spesifikasi Produk

Produk pertama datang pada awal abad ini. Pelopor utama adalah tiga pemasok yaitu Bridgewave Communications, Gigabeam Corporation, dan E-Band Communications. Radio ini terutama mendukung kapasitas 1 Gbps dalam saluran 1,0 GHz. Radio ini mahal, disesuaikan dengan aplikasi perusahaan, dan memiliki beberapa karakteristik kelas pembawa^[19].

Kemudian, pada akhir 2000-an, vendor tingkat-1 seperti Alcatel-Lucent, Huawei, Nokia Siemens Networks, dan NEC mulai menawarkan radio ini dengan merek mereka sendiri sebagai pengecer. Perjanjian penjualan kembali dengan pemasok yang disebutkan di atas membuat produk generasi pertama ini lebih mahal dengan fitur yang sama, tetapi dengan merek yang lebih kuat.

Tabel 10.5 Spesifikasi Produk E-Band

Attributes	First Generation	Second Generation
		Additional Attributes
Manufacturers	U.S. based Bridgewave Communications, Gigabeam Corporation and E-Band Communications. Tier-1 vendors as resellers	Huawei, NEC, and SiAE
Timeline	2000s	2010s
Channel spacing	250 and 1000 MHz	500 and 750 MHz
Modulation	BPSK, QPSK (4-QAM)	16 /64-QAM
Adaptive code and modulation	Limited	Good strength
Capacity	120, 240, 600, 1200 Mbps	2.5 Gbps (with 64-QAM and 500 MHz)
Spectral efficiency	1 bps/Hz	5 bps/Hz
Ethernet ring protection	Not available	ITU-T G.8032 v2 ethernet ring protection switching (<50 msec)

Sumber: Asif, S.Z. 2015. *Jurnal Internasional Teknologi Nirkabel dan Gelombang Mikro*, 2015(4):37–46; gelombang jembatan. 80GHz Nirkabel.

<http://www.bridgewave.com/products/80ghz.cfm>; Komunikasi E-Band, LCC. Seri Evolusi 4G.

<http://www.e-band.com/ProductOverview> ; Huawei. Microwave E-band.

<http://www.huawei.com/en/solutions/wide-smarter/hw-196711.htm> ; NEC. iPasolink EX.

<http://www.nec.com/en/global/prod/nw/pasolink/products/ipasolinkEX.html>; SiAE. seri

ALFOplus80. <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecomsystems/microwave-product-portfolio> ^[17, 20–24].

Sekarang, di tahun 2010-an, Huawei, NEC, SIAE Microelettronica, dan beberapa lainnya juga mulai memproduksi radio internal mereka. Produk generasi kedua ini biasanya dirancang untuk menangani kebutuhan operator seluler. Mereka mendukung kapasitas yang lebih tinggi lebih dari 1,0 Gbps dan bandwidth saluran yang lebih kecil. Atribut kinerja utama dari radio ini ditunjukkan pada Tabel 10.5.

10.6 Teknik Tautan Radio E-Band

Rekayasa tautan e-band mirip dengan perancangan tautan radio gelombang mikro lainnya kecuali para insinyur harus memperhitungkan kerugian tambahan. Faktor kunci yang

berkontribusi pada memudanya sinyal radio gelombang milimeter yang merambat melalui atmosfer adalah kehilangan jalur ruang bebas, kehilangan gas atmosfer, dan kehilangan redaman hujan. Untuk gelombang milimeter, ada metode prediksi standar untuk mengukur redaman akibat hidrometeor presipitasi (pada dasarnya hujan), awan dan kabut, dan gas atmosfer. Rekomendasi utama untuk tautan titik ke titik adalah ITU-R P.530^[25], yang menyediakan metode prediksi yang diperlukan untuk desain sistem garis pandang terestrial. Rekomendasi lain, ITU-R P.838-3 [26], memberikan model redaman khusus untuk hujan yang dapat digunakan dalam metode prediksi. Beberapa detail tambahan tentang perhitungan tautan dapat ditemukan di^[27,28].

10.6.1 Faktor Kehilangan Sinyal Utama

- **Kehilangan Ruang Bebas Free**

The free space loss (FSL) adalah frekuensi dan kehilangan atenuasi yang bergantung pada jarak antara dua antena isotropik. Antena isotropik adalah sumber titik teoretis yang memancarkan energi secara merata ke segala arah. Kerugian tersebut diberikan oleh Persamaan 10.1^[14] berikut:

Persamaan 10.1

$$L_{FSL} = 92.4 + 20 \log f + 20 \log R$$

di mana f adalah frekuensi dalam GHz dan R adalah jarak pandang antara antena pengirim dan penerima dalam km.

Dapat dilihat dari Persamaan 10.1 bahwa sistem radio yang beroperasi pada 80 GHz akan memiliki FSL yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sistem gelombang mikro 38 GHz. Untuk jarak 2 km FSL pada 38 GHz adalah 130 dB sedangkan pada 80 GHz adalah 136 dB, sehingga ada tambahan loss sebesar 6 dB. Namun, telah ditunjukkan oleh penelitian bahwa jarak tautan pada 38 dan 80 GHz sangat mirip karena penggunaan antena gain besar dalam sistem e-band.

- **Kehilangan Gas Atmosfer**

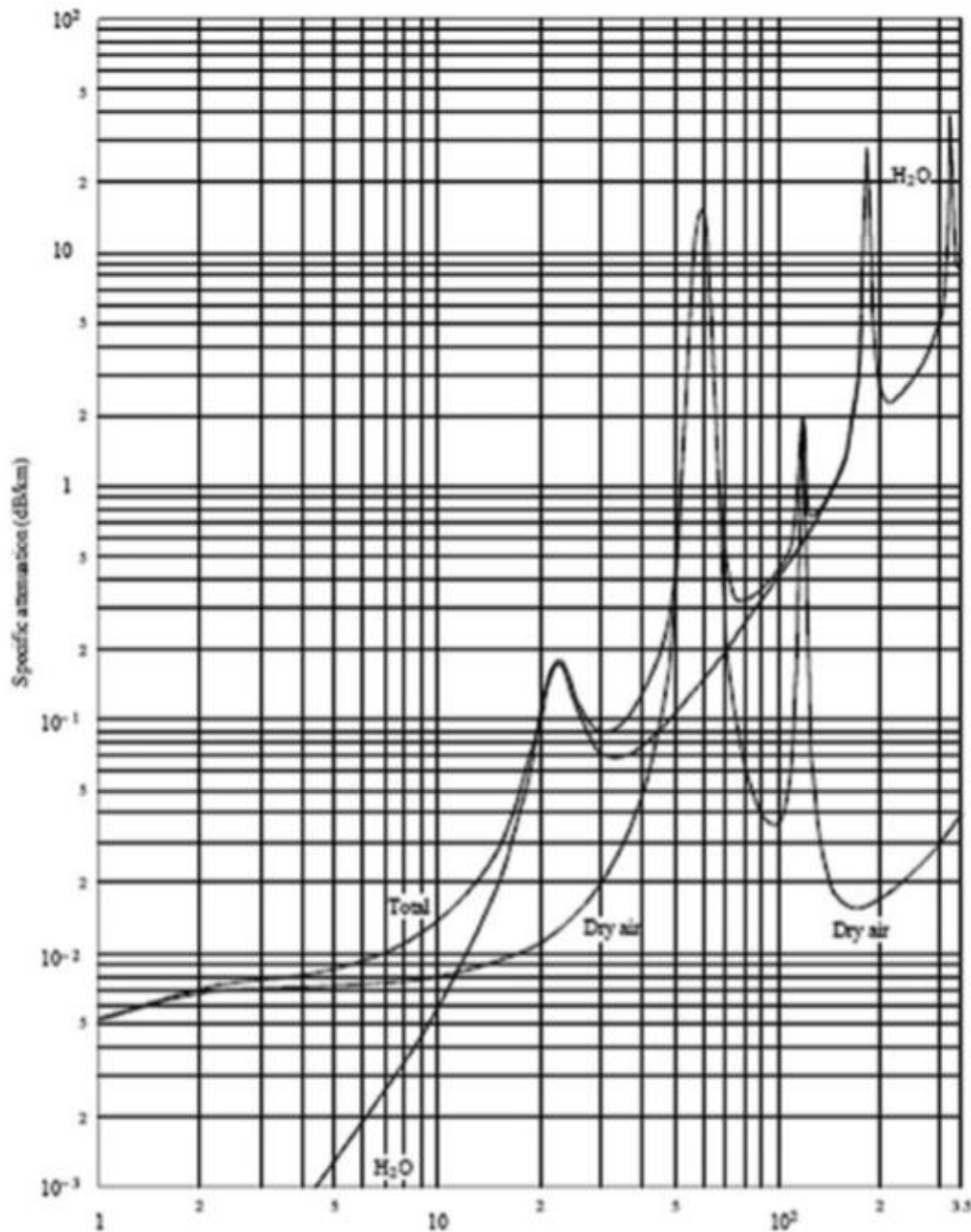
Redaman sinyal terjadi ketika gelombang milimeter yang merambat melalui atmosfer diserap oleh molekul oksigen, uap air, dan konstituen gas atmosfer lainnya. Kerugian ini lebih besar pada frekuensi tertentu, bertepatan dengan frekuensi resonansi mekanik molekul gas. Gambar 10.9 menunjukkan data kualitatif tentang kehilangan gas. Ini menunjukkan beberapa puncak yang terjadi karena penyerapan sinyal radio oleh uap air (H₂O) dan udara kering. Pada frekuensi ini, penyerapan menghasilkan redaman sinyal yang tinggi, oleh karena itu, jarak propagasi yang pendek. Sebagai contoh, juga dapat disaksikan bahwa penyerapan udara kering mencapai puncaknya pada 60 GHz dengan redaman 15 dB/km dibandingkan dengan kurang dari 1 dB/km pada 76 GHz.

10.6.2 Redaman fisik akibat gas atmosfer

Frekuensi : f (GHz)

Temperatur : 15°C

Uap Air : 7.5 g/m³



Gambar 10.9 Redaman spesifik akibat gas atmosfer. (Dari ITU-R 2001. Rekomendasi ITU-R P.676-5 Atenuasi oleh gas atmosfer^[29].)

- **Pengurangan Redaman Hujan**

Hujan juga berdampak pada kinerja radio e-band. Tetesan hujan kira-kira berukuran sama dengan panjang gelombang radio, dan karena itu, menyebabkan hamburan sinyal radio. Gambar 10.10 menunjukkan bahwa hujan deras dengan laju 25 mm/jam (1" per jam) menyebabkan redaman lebih dari 10 dB/km pada frekuensi e-band. Redaman ini meningkat menjadi 30 dB/km dengan hujan tropis yaitu sekitar 100 mm/jam (4" per jam) untuk set frekuensi yang sama.

Tingkat hujan di semua wilayah di dunia telah diukur dan didokumentasikan secara luas. Peta curah hujan, biasanya disebut zona hujan ITU, mengacu pada tingkat hujan aktual dengan menggunakan nomenklatur alfabet. Wilayah dunia yang memiliki curah hujan terendah diklasifikasikan dalam zona hujan A sedangkan wilayah dengan curah hujan tertinggi

diklasifikasikan dalam zona hujan Q pada Tabel 10.6. Misalnya, sistem radio gelombang mikro yang dipasang di zona hujan K dan/atau E perlu mengatasi laju hujan masing-masing 42 mm/jam dan/atau 22 mm/jam, untuk mempertahankan angka ketersediaan tautan radio sebesar 99,99%. Tingkat hujan ini dan durasi yang sesuai pada akhirnya menentukan kesesuaian tautan radio e-band di zona hujan tertentu.

Tabel 10.6 Wilayah Zona Hujan ITU Bersama dengan Tingkat Hujan Terkait (mm/jam) dan Durasi

Percentage of Time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	34
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Sumber: Rekomendasi ITU-R PN.837-1 1994. Karakteristik Curah Hujan untuk Pemodelan Propagasi (Pertanyaan ITU-R 201/3) [31].

Pudar hujan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

Persamaan 10.2

$$L_{rain} = \gamma_R D_{rain}$$

di mana

L_{rain} = kehilangan kekuatan sinyal karena hujan (dB)

D_{rain} = panjang lintasan melalui troposfer (km)

γ_R = redaman spesifik (dB/km)

$\gamma_R = kR^\alpha$ (di mana k dan α adalah berbagai koefisien frekuensi untuk polarisasi horizontal dan vertikal) . Nilai koefisien ini didefinisikan dalam ITU-R P.838-2^[26]

- **Link Budget**

Link budget adalah neraca keuntungan dan kerugian. Ini memperhitungkan semua keuntungan dan kerugian, dari pemancar, melalui media, ke penerima dalam sistem komunikasi radio. Anggaran tautan untuk sistem radio dapat ditulis seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 10.2

Persamaan 10.3

$$P_R = P_T + G_T - (L_T + L_{FSL} + L_R) + G_R$$

dimana

P_R = daya yang diterima (dBm);

P_T = daya keluaran pemancar (dBm)

G_T = penguatan antena pemancar (dBi);

L_T = rugi-rugi pemancar (bujuk, konektor) (dB)

L_{FSL} = rugi-rugi jalur ruang bebas (dB)

L_M = rugi-rugi lain-lain (atmosfer, fading, hujan) (dB)

G_R = penguatan antena penerima (dBi);

L_R = rugi-rugi penerima (membujuk, konektor) (dB)

Produk $P_T G_T$ disebut EIRP atau daya pancar efektif sehubungan dengan antena isotropik. EIRP mengacu pada daya yang diradiasikan relatif terhadap antena isotropik yang gain antena pancarnya adalah 1. Setelah menghitung daya yang diterima, perlu ditentukan apakah daya ini cukup untuk komunikasi radio. Dengan demikian, margin operasi sistem atau margin pudar ditambahkan ke dalam perhitungan. SOM atau (margin operasi sistem) atau margin tautan/pudar adalah perbedaan antara sinyal yang sebenarnya diterima radio versus apa yang dibutuhkan untuk pemulihan data yang baik (yaitu, sensitivitas penerima). Margin ini dihitung dengan mengurangkan nilai sensitivitas penerima (dB) dari daya yang diterima yang dihitung melalui Persamaan 10.4

Persamaan 10.4

$$SOM = P_R - S_R$$

dimana

SOM = System Operating Margin (dBm)

P_R = daya yang diterima (dBm)

S_R = Receiver Sensitivity (dBm)

Faktor kedua setelah menentukan daya yang diterima adalah signal to noise ratio atau SRN. SRN adalah rasio (biasanya diukur dalam dB) antara level sinyal yang diterima dan level noise floor untuk sinyal tertentu. Margin fade link sebesar 20 dBm atau lebih dianggap cukup memadai, sedangkan nilai kurang dari 10 dBm tidak dapat diterima. Sensitivitas penerima atau tingkat kesalahan bit radio e-band berkisar antara 50 hingga 75 dBm dibandingkan dengan unit gelombang mikro tradisional yang berkisar antara 60 hingga 85 dBm, tergantung pada skema modulasi. Tabel 10.7 menunjukkan hubungan antara fade margin dan ketersediaan tautan di mana 20 dBm menyumbang waktu henti sekitar 70 jam per tahun.

Kombinasi Persamaan (1) sampai (4) dapat digunakan untuk menentukan jarak (jarak) antara ujung pengirim dan penerima. Kelemahan utama menggunakan frekuensi yang lebih tinggi adalah membatasi jarak atau jangkauan yang dapat dijangkau oleh radio. Demikian pula, radio e-band mencapai throughput yang tinggi, tetapi biasanya dapat menjangkau kurang dari 2 km. Namun, untuk jaringan LTE, 4G, dan 5G kisaran ini cukup memuaskan.

Tabel 10.7 Fade Margin untuk Rayleigh Fading

Fade Margin (dBm)	Availability (%)	Downtime (per year)
8	90	876 hours
18	99	88 hours
28	99.9	8.8 hours
38	99.99	53 minutes
48	99.999	5.3 minutes
58	99.9999	32 seconds

10.7 Pengujian Eksperimental (2008–2011)

Tujuan pertama pengujian ini adalah untuk memahami teknologi dan mengevaluasi produk generasi pertama dari beberapa vendor, dan kedua, untuk menganalisis metode prediksi yang memperhitungkan efek propagasi seperti redaman akibat presipitasi hidrometeor. ITU-R telah merekomendasikan metode prediksi propagasi, namun, sejauh mana data jangka panjang yang tersedia dari penyebaran tautan radio atau test bed terbatas.

Kekuatan sinyal radio dan data meteorologi diukur di ujung penerima tautan 83,5 GHz yang terletak di FoRNeBu. Pengukuran kekuatan sinyal diambil pada waktu pengambilan sampel sekitar 1 detik di mana waktu pengambilan sampel yang sebenarnya bervariasi antara sekitar 1 dan 1,5 detik. Sebuah stasiun meteorologi di FoRNeBu memberikan suhu udara, tekanan, kelembaban relatif, kecepatan dan arah angin, dan curah hujan hidrometeor dengan nilai sampel 1 menit. Satu set data curah hujan menit dari stasiun terdekat di Lilleaker disediakan oleh lembaga meteorologi Norwegia.

10.7.1 Hasil dan Pengamatan

Hasil menunjukkan bahwa gangguan propagasi dapat diatasi, tetapi metode redaman presipitasi yang direkomendasikan ITU-R saat ini tampaknya di bawah prediksi^[33,34]. Pengamatan utama adalah sebagai berikut:

- Redaman Hujan Hidrometeor: Telah dicatat bahwa distribusi redaman yang diprediksi secara signifikan lebih optimis daripada redaman yang diamati.
- Pengaruh Gas Atmosfer: Redaman gas bervariasi dengan maksimum sekitar 1 dB/km selama bulan-bulan musim panas yang hangat, yaitu pada periode dengan curah hujan paling tinggi, dan kurang dari 0,3 dB/km selama periode musim dingin.
- Pengaruh Salju dan Es Basah: diamati bahwa ketika antena tertutup salju dan es basah, sinyal menurun drastis. Salju basah di udara menyebabkan pelemahan yang jauh lebih besar daripada jumlah air cair yang sama dan ITU-R P.530 menyertakan metode untuk menjelaskan hal ini.
- Pembasahan Antena: Antena memiliki lapisan hidrofobik untuk meminimalkan akumulasi salju dan es, tetapi perlingkungannya berkurang seiring waktu. Ketika penutup antena disemprot dengan air, redaman tambahan 2 dB dicatat, yang berarti bahwa jika pembasahan terjadi di bawah periode dengan curah hujan, pembasahan antena dapat menyebabkan kerugian total 3-4 dB.
- Pengaruh turbulensi udara, angin, kabut, dan awan tidak dapat diukur karena kurangnya instrumen yang tepat.

10.8 Skenario Aplikasi

Penggunaan paling relevan dari radio ini adalah di backhaul, terutama dengan kemajuan ke 5G. Beberapa aplikasi kunci dari tautan radio e-band berkapasitas tinggi adalah sebagai berikut^[17]:

10.8.1 Alternatif untuk Serat Optik

Penyebaran serat optik membutuhkan waktu berbulan-bulan karena membutuhkan pembebasan lahan dan penggalian tanah. Radio E-band dapat digunakan sampai serat diletakkan di tanah. Ini akan mempercepat penyampaian layanan kepada pelanggan dan akan mempercepat waktu ke pasar. Misalnya, standar teknologi DAS (sistem antena terdistribusi) memerlukan digitalisasi sinyal antena sebelum mengirimkannya ke antena jarak jauh. Jumlah besar throughput data digital ini biasanya diangkut menggunakan kabel serat optik. Namun, gelombang milimeter merupakan alternatif teknologi yang ideal ketika sinyal DAS perlu ditransportasikan secara nirkabel^[18].

10.8.2 Redundansi ke Fiber

Radio E-band dapat menyediakan jalur redundan untuk membawa lalu lintas bersama dengan serat optik. Ini cocok untuk cadangan tingkat kedua atau ketiga untuk rute serat yang ada dan yang baru. Radio E-band akan berguna jika terjadi pemotongan serat ganda.

10.8.3 Memperluas Tulang Punggung Serat

Serat mungkin tidak diperlukan untuk menutupi lokasi yang berada di perbatasan kota. Tautan radio E-band tidak dapat mencakup jarak yang lebih jauh karena menggunakan kerugian yang lebih tinggi terkait dengan frekuensi yang lebih tinggi tersebut, namun, batasan ini dapat dikurangi dengan penggunaan serat hibrida dan tautan nirkabel.

10.8.4 Relief Frekuensi

Radio gelombang mikro tradisional memiliki bandwidth saluran yang lebih kecil (biasanya, yang terbesar adalah 56 MHz) dibandingkan dengan radio e-band (minimal 250 MHz) dan dengan demikian memiliki kapasitas yang lebih rendah untuk membawa lalu lintas. Banyak operator sering menghadapi kekurangan frekuensi seperti itu, karena banyak saluran digunakan di hub transmisi untuk mendukung backhaul lalu lintas dari berbagai situs sel individu (tergantung). Radio E-band dengan demikian dapat digunakan untuk membebaskan beberapa frekuensi gelombang mikro tradisional di lokasi berkapasitas tinggi.

10.8.5 Tower Loading Relief

Radio e-band dapat menampung kapasitas yang setara dengan setidaknya 2-3 unit radio gelombang mikro tradisional. Dengan demikian, ini mengurangi beban pada menara seluler yang memberikan ruang untuk penggunaan di masa mendatang.

10.8.6 Small Cells Backhaul

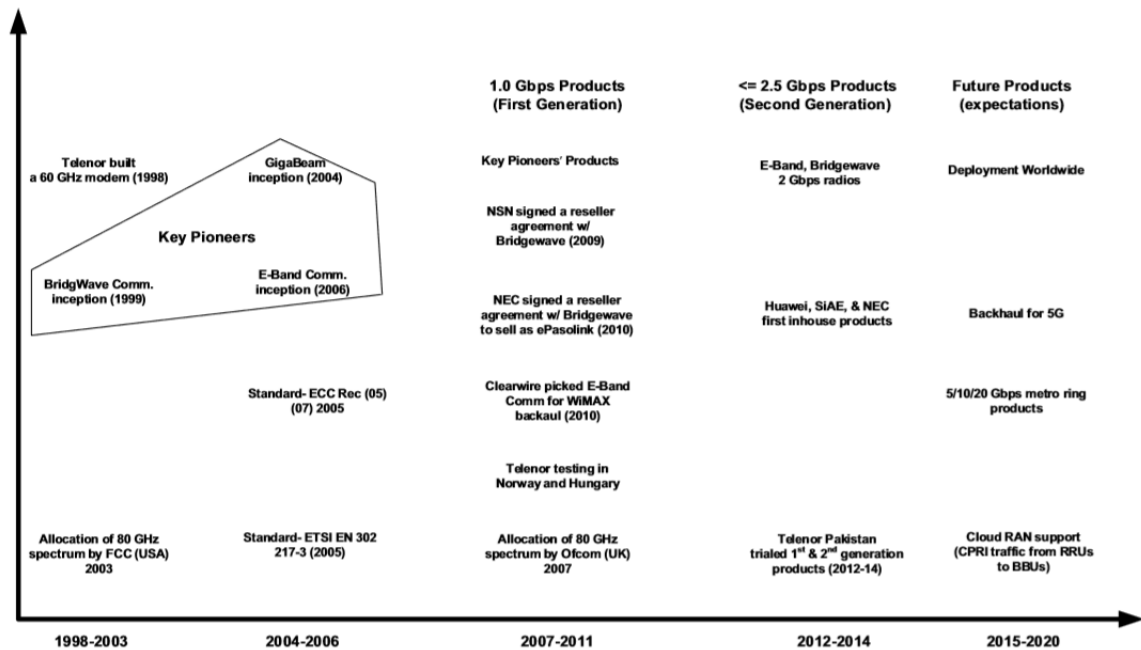
Sel kecil diharapkan akan banyak digunakan di jaringan 5G. Ini dapat ditempatkan di tiang lampu jalan dan di lokasi padat di mana BTS tradisional tidak dapat diakomodasi. Radio e-band dapat digunakan untuk mendukung backhaul untuk sel kecil.

10.8.7 Situasi Keamanan/Bantuan Darurat

Jika terjadi bencana alam atau pergolakan buatan, sel di atas roda yang dilengkapi dengan radio e-band dapat digunakan untuk mengatasi upaya bantuan sebagai alternatif serat.

10.9 Evolusi Radio E-Band

Pengembangan radio gelombang mikro ini untuk komunikasi seluler dimulai pada 1990-an dan menjadi kenyataan pada 2000-an. Sejumlah besar pengujian dilakukan oleh operator pada tahun 2010-an dan penyebaran radio generasi kedua berlangsung pada dekade ini. Di tahun-tahun mendatang, topologi Cloud-RAN diharapkan dalam 5G, dan radio e-band diharapkan dapat mengarahkan lalu lintas CPRI dari RRU ke BBU. Radio ini dapat membawa kapasitas besar untuk mendukung topologi metroring juga. Gambar 10.14 menunjukkan evolusi radio ini, menangkap informasi yang disebutkan di bagian sebelumnya.



Gambar 10.10 Evolusi Radio E-Band

10.10 Jaringan Transportasi Metro

Pertanyaan yang perlu dijawab di sini adalah bagaimana memigrasikan jaringan transportasi metro 3G/4G saat ini untuk mendukung 5G dan/atau bagaimana membuat jaringan transportasi metro baru untuk penerapan 5G lapangan hijau.

Konektivitas di luar backhaul (dan biasanya dalam area metropolitan) menuju jaringan transportasi inti biasanya dalam konfigurasi cincin serat optik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.15. Lalu lintas dari backhaul dapat dijatuhkan pada sakelar berbasis Ethernet atau pada router IP yang kemudian diangkut melalui jaringan transportasi metro ke jaringan transportasi inti.

Di sebagian besar jaringan, konfigurasi ini telah dan akan dimigrasikan dari SDH (Synchronous Digital Hierarchy) berbasis TDM ke teknologi berbasis paket seperti MPLS-TP. Jaringan metro tradisional berbasis produk SDH ADM (Add-Drop Multiplexer) saling terhubung dalam bentuk cincin fisik menggunakan kabel serat optik. Layanan dilindungi di ring menggunakan teknik MSP/SNCP (Multiplex Section Protection/Subnetwork Connection Protection) dan mekanisme survivabilitas layanan yang serupa dan lebih baik telah diusulkan untuk MPLS-TP. Bagian ini terutama akan melihat standarisasi, tantangan, dan aplikasi MPLS-TP (pemanfaatan dalam skenario 4G/5G).

10.11 MPLS-TP

MPLS-TP adalah teknologi transport paket baru yang telah diteliti dan diselidiki selama bertahun-tahun. Teknologi ini lahir dari upaya industri telekomunikasi yang ingin memperkuat jaringan transportasi berbasis paket. Perkembangannya telah dibagi antara IETF dan ITU-T di mana IETF membawa keahlian MPLS-nya sementara ITU-T menambahkan pengetahuan signifikannya tentang jaringan transportasi.

MPLS-TP dirancang untuk mendukung layanan transportasi paket dengan tingkat prediktabilitas, mirip dengan yang tersedia di jaringan transportasi berbasis circuit-sw ITC hed yang ada. Jaringan MPLS-TP menawarkan layanan berbasis lapisan-2 dengan menggunakan

kembali struktur label MPLS yang sama untuk penerusan paket namun menghindari risiko dan kerentanan (seperti badai siarant[†]) dari jaringan lapisan-2 tradisional.

MPLS-TP dapat digunakan dalam backhaul bersama dengan radio gelombang mikro e-band, dan juga dapat digunakan melalui OTN/DWDM (Jaringan Transportasi Optik/Dense Wave Division Multiplexing) di jaringan transportasi inti. Pemikiran di balik jaringan MPLS-TP adalah untuk memiliki tampilan dan nuansa yang mirip dengan jaringan SDH/SONET (Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Networking) yang ada, tetapi dengan skalabilitas yang lebih baik. Sebagai teknologi berorientasi koneksi layer 2, ini terus digunakan di backhaul seluler dan jaringan metro/agregasi sebagai alternatif SDH/SONET.

10.11.1 Standardisasi

Penciptaan teknologi MPLS-TP merupakan hasil dari upaya standardisasi bersama antara IETF dan ITU-T. Pekerjaan standarisasi pada MPLS-TP dimulai sebagai T-MPLS (Transport-MPLS) di ITU-T pada tahun 2005. ITU-T menyetujui rekomendasi kunci T-MPLS termasuk G.8110.1 (Arsitektur jaringan lapisan MPLS Transportasi), G.8121 (Karakteristik blok fungsional peralatan MPLS Transport), G.8112 (Antarmuka untuk hierarki MPLS Transport), dan G.8131 (Sw ITC h perlindungan linier untuk jaringan MPLS Transport) pada tahun 2006 dan 2007.

IETF juga bekerja secara paralel untuk memperluas teknologi MPLS yang telah terbukti untuk digunakan dalam jaringan transportasi. Sebagai teknologi yang berfokus pada Internet, MPLS dirancang berdasarkan prinsip perutean upaya terbaik dan pengiriman lalu lintas tanpa koneksi. Mengingat penyebaran MPLS dalam jaringan dan keinginan untuk menyelaraskan jaringan paket dengan KPI operasional transportasi yang lebih tradisional (indikator kinerja utama) seperti berorientasi koneksi, QoS, dan sebagainya, upaya mulai dilakukan di IETF.

Setelah bekerja selama beberapa tahun di jalur yang terpisah, kedua SDO bergandengan tangan dan memutuskan untuk bekerja sama seperti yang ditentukan dalam RFC 5317^[43]. RFC 5317 "Laporan Tim Kerja Bersama tentang pertimbangan arsitektur MPLS untuk Profil Transportasi" menyatakan bahwa kedua belah pihak bekerja bersama, membawa persyaratan transportasi ke IETF, dan memperluas penerusan MPLS IETF, OAM, kemampuan bertahan, manajemen jaringan, dan protokol pesawat kontrol untuk memenuhi persyaratan tersebut melalui Proses Standar IETF. Kemudian, T-MPLS berganti nama menjadi MPLS-TP berdasarkan kesepakatan yang dicapai antara ITU-T dan IETF untuk menghasilkan seperangkat standar yang terkonvergensi. Standardisasi MPLS-TP sebagian besar telah selesai. Namun, masih ada beberapa kompromi yang diperlukan untuk menemukan titik temu pada item seperti OAM, perlindungan, dan bidang kontrol yang akan dibahas di subbagian berikutnya.

10.11.2 Konsep MPLS-TP

Teknologi MPLS-TP merupakan subset dan perpanjangan dari MPLS⁵⁴ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.16. Itu dibangun di atas penerusan paket MPLS yang ada dan kabel semu berbasis MPLS tetapi tidak memerlukan kemampuan bidang kontrol MPLS. Ini menyediakan penyediaan statis melalui NMS (Sistem Manajemen Jaringan) sementara bidang kontrol Generalized MPLS (GMPLS) dinamis tetap opsional dalam standar.

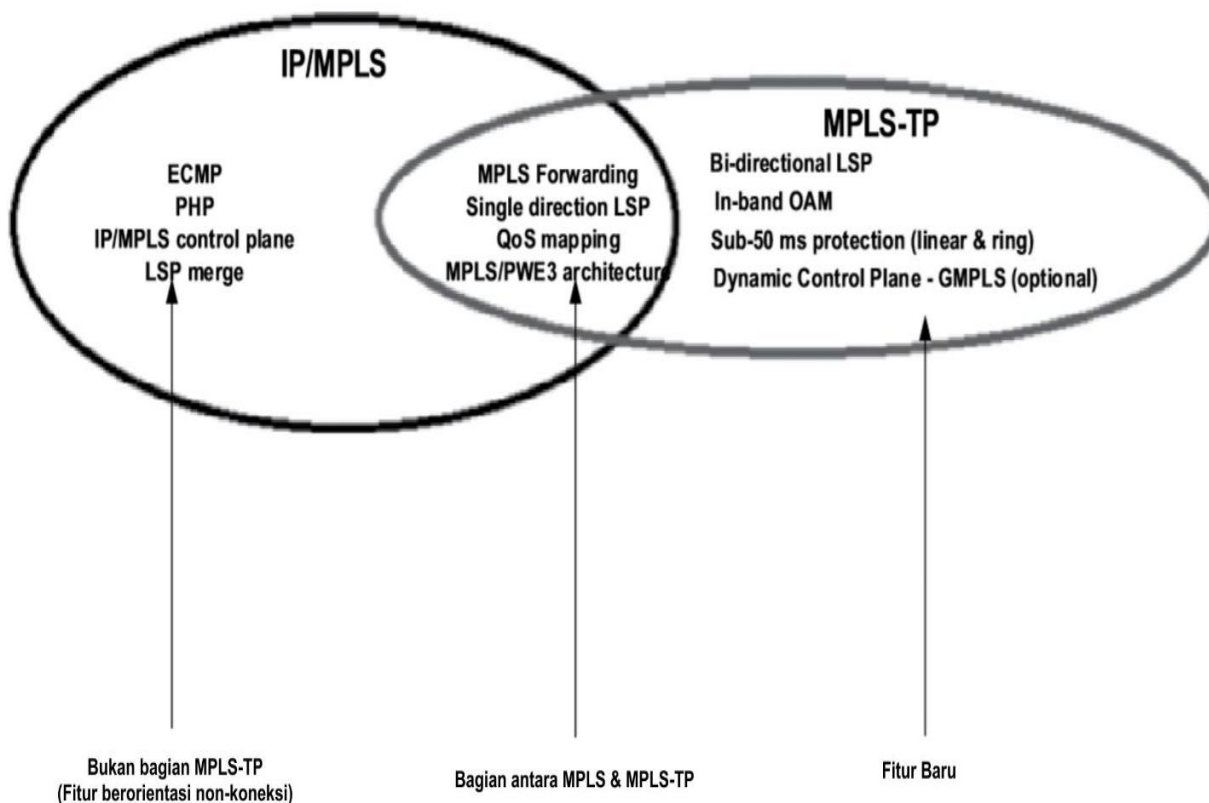
⁵⁴ MPLS adalah teknologi tanpa koneksi layer 2.5 yang dirancang untuk membawa semua jenis lalu lintas TDM dan IP.

Pada MPLS-TP, beberapa fungsi MPLS dimatikan, yaitu penggabungan LSP⁵⁵ (label sw ITC hed path), penggabungan hop penultimate (PHP)⁵⁶, dan equal cost multi path (ECMP)⁵⁷. Meskipun fitur ini telah berhasil diimplementasikan dengan MPLS, fitur ini dapat mengganggu pengelolaan jalur berorientasi koneksi antara titik akhir di MPLS-TP. Kemungkinan gangguan ini disebabkan oleh kurangnya ketertelusuran penuh dari jalur-jalur tersebut; misalnya, paket OAM harus melewati jalur yang sama dengan paket sinyal untuk memantau kondisi jalur dengan tepat. Secara sederhana, MPLS-TP adalah Layer 2, connection-oriented, dan teknologi agnostik layer fisik untuk jaringan transport packet-sw ITC hed.

10.11.3 Arsitektur

Gambar 10.17 menunjukkan arsitektur untuk jaringan MPLS-TP ketika kabel semu segmen tunggal (single transport LSP) dan multi-segmen digunakan. Arsitektur ini dijelaskan dalam RFC 5921 [44] di mana LSP transportasi setara dengan terowongan Packet Sw ITC hed Network (PSN). Lapisan klien dalam arsitektur ini setara dengan layanan yang diemulasi yang dijelaskan dalam Arsitektur RFC 3985 Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge (PWE3)^[45].

Elemen kunci dan fungsionalitas MPLS-TP adalah bidang data dan kontrol, fungsi OAM, dan mekanisme perlindungan jalur.

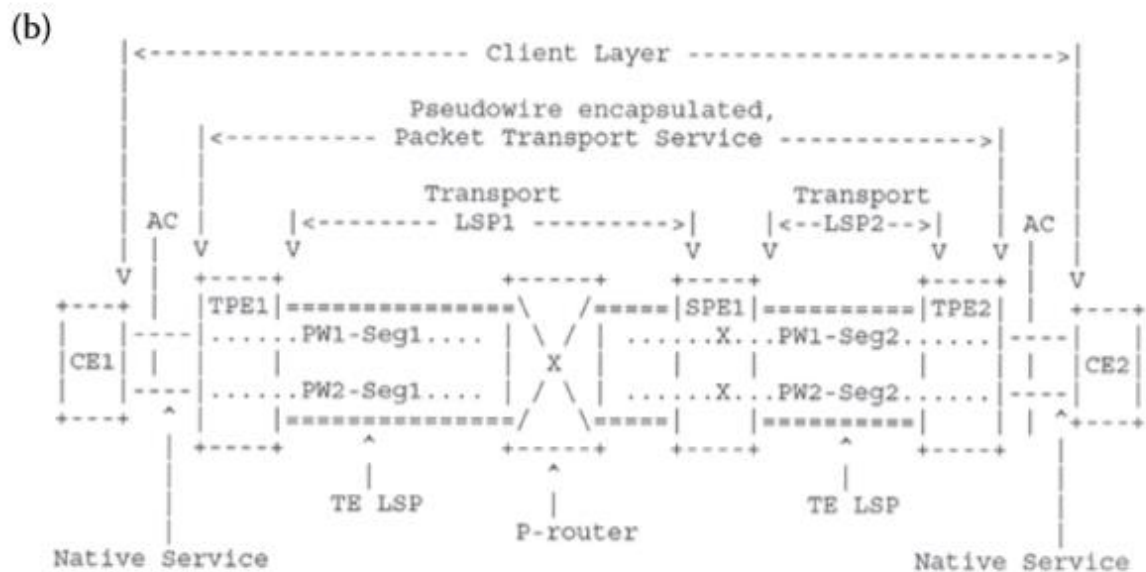
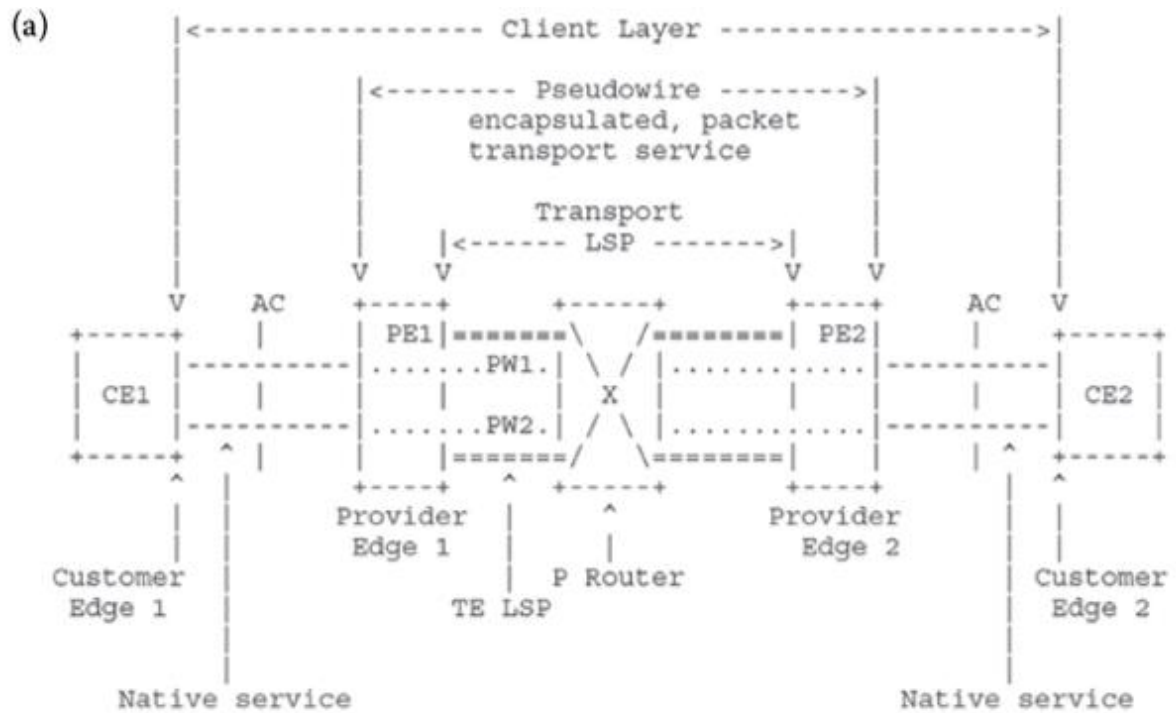


Gambar 10.11 Gambaran MPLS-TP

⁵⁵ LSP adalah jalur melalui jaringan MPLS, diatur oleh protokol pensinyalan.

⁵⁶ PHP adalah fungsi yang dilakukan oleh router tertentu dalam jaringan berkemampuan MPLS. Itu berarti menghapus label satu hop sebelum tujuannya. Dengan kata lain, ini adalah proses di mana label terluar dari paket yang diberi tag MPLS dihapus oleh LSR sebelum paket tersebut diteruskan ke Label Edge Router (LER) yang berdekatan.

⁵⁷ IETF RFC 2992 mendefinisikan Equal-Cost Multi-Path (ECMP) sebagai teknik routing untuk merutekan paket di sepanjang beberapa jalur dengan biaya yang sama untuk satu tujuan.



PW1-segment1 and PW1-segment2 are segments of the same MS-PW, while PW2-segment1 and PW2-segment2 are segments of another MS-PW.

Gambar 10.12 Arsitektur MPLS-TP. (Dari RFC 59212010 Kerangka Kerja untuk MPLS di Jaringan Transportasi, IETF, Juli^[42].)

Data Plane: Data plane standar MPLS terdiri dari LSP, section, dan pseudo wires⁵⁸ untuk menyediakan layanan transport paket untuk lalu lintas klien. Ini terutama tetap mirip dengan MPLS untuk memfasilitasi interoperabilitas.

⁵⁸ Bagian menyediakan sarana untuk mengidentifikasi jenis muatan yang dibawanya (entitas paket lapisan transport). Pseudo wire (PW) adalah emulasi dari layanan asli (ATM, Frame Relay, EtheNRet, SONET/SDH, dll.)
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

Bidang penerusan MPLS-TP menggunakan arsitektur penerusan MPLS standar yang sama dan benar-benar terpisah dari bidang kendali. Ini menggunakan LSP dua arah yang didefinisikan dengan memasang arah maju dan mundur untuk mengikuti jalur yang sama: simpul yang sama dan tautan yang sama. Selain itu, ia mendukung LSP point-to-point dan point-to-multipoint searah.

Fungsi penggabungan LSP, dan ECMP dihentikan di MPLS-TP. Penggabungan dua LSP (pergi ke tujuan yang sama) mengurangi jumlah label yang digunakan dalam jaringan. Namun, penggabungan membuat agak sulit untuk membedakan antara lalu lintas yang berasal dari dua sumber berbeda yang ada sebelum penggabungan. Dalam jaringan IP/MPLS, paket yang berbeda antara pasangan tujuan sumber dapat mengambil jalur yang berbeda; terutama ketika beberapa jalur biaya yang sama ada. Namun, ini bertentangan dengan konsep sirkuit di mana semua lalu lintas mengikuti jalur yang sama; dengan demikian, ECMP juga dihentikan.

Control Plane: Control plane adalah opsional, dan bisa statis atau dinamis.

OAM: Kuncinya adalah memiliki kemampuan OAM yang mirip dengan fungsionalitas OAM SONET/SDH. Kemampuan OAM yang lebih sederhana namun lebih kuat menggunakan G-Ach (Generic Associated Channel) terpisah memungkinkan untuk tugas-tugas transportasi sentris seperti pengujian loop dan penguncian sirkuit. Pemantauan kesalahan dan kegagalan dilakukan dengan menggunakan fungsi pesan CC/CV (Pemeriksaan Konektivitas/Verifikasi Konektivitas).

Proteksi Linier: Mekanisme sw ITC hing proteksi linier harus mampu menyediakan waktu pemulihan kurang dari 50 ms mirip dengan SONET/SDH. Proteksi linier memungkinkan proteksi yang cepat sehingga lalu lintas yang mengikuti satu jalur jaringan dapat dialihkan ke jalur cadangan ketika jalur kerja gagal atau turun di bawah ambang batas yang disyaratkan atau saat intervensi manusia yang disetujui terjadi^[46].

10.11.4 Tantangan dan Alternatif

Bagian ini menyoroiti beberapa tantangan utama yang dihadapi dan alternatif untuk mengatasi masalah tersebut dalam pengembangan MPLS-TP.

- **OAM**

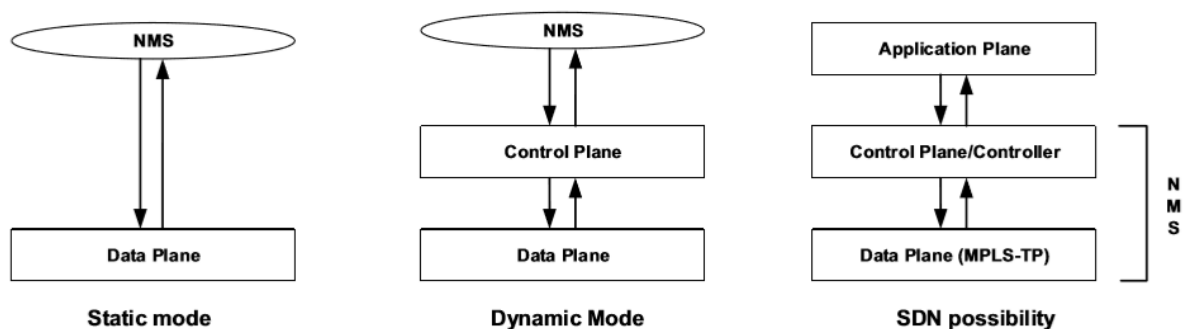
Salah satu fitur utama MPLS-TP adalah fungsionalitas OAM seperti jaringan transportasi yang ada. Sejak awal pengembangan MPLS-TP, ada dua kubu yang mendefinisikan fungsi OAM. IETF berfokus pada pengembangan ekstensi ke alat MPLS OAM yang ada dan membuat beberapa alat pengukuran dan manajemen kesalahan baru. Itu termasuk memperluas Deteksi Penerusan Dua Arah (BFD) untuk pemeriksaan kontinuitas proaktif dan verifikasi konektivitas dan memperluas LSP Ping untuk verifikasi konektivitas sesuai permintaan dan pelacakan rute.

ITU-T berfokus pada mekanisme OAM yang kemudian disebut sebagai ITU-T G.8113.1. Standar G.8113.1 mengacu pada elemen kunci OAM dari ITU-T Y.1731, yang digunakan dalam jaringan Ethernet pembawa. Sampai akhir, kedua pendekatan tetap terpisah dan pada akhirnya menghasilkan dua set spesifikasi OAM yang berbeda. Kedua formulasi ini, masing-masing G.8113.1^[47] dan G.8113.2^[48] dari ITU-T dan IETF, telah disetujui di WTSA pada November 2012.

melalui jaringan packet-sw ITC hed (IP, MPLS, dll.), yang biasa digunakan untuk EtheNRet melalui jaringan packet-sw ITC hed

Rekomendasi G.8113.1 menganut fungsi dan mekanisme OAM dari Rekomendasi ITU-T G.8013^[49]. Rekomendasi G.8013 menetapkan mekanisme yang diperlukan untuk mengoperasikan dan memelihara aspek jaringan dan layanan dari lapisan Ethernet. Ini juga menentukan format bingkai Ethernet OAM dan sintaksis dan semantik bidang bingkai OAM. Ketika node klien di kedua ujung transmisi dan penerima didasarkan pada Ethernet, G.8113.1 akan membuat pekerjaan mengelola dan memantau jaringan MPLS-TX lebih mudah bagi operator karena penggunaan kembali fungsi OAM. Sebaliknya, G.8113.2 mengutamakan implementasi router IP/MPLS dan itu tergantung pada fungsi lapisan IP. G.8113.1, di sisi lain, tidak tergantung pada lapisan IP.

G.8113.2 dibangun di atas alat diagnostik klien MPLS yang sudah ada sebelumnya seperti LSP Ping dan BFD, dan ditingkatkan melalui protokol OAM baru yang dapat dibawa dalam MPLS ACh^[46]. Secara keseluruhan, G.8113,2 cenderung lebih kompleks karena penambahan beberapa fungsi seperti empat mode CV yang sesuai dengan G-ACh (Generic ACh), UDP (User Datagram Protocol), dan IPv4, IPv6, dan lainnya. Dalam MPLS-TP, ACh diperluas ke G-ACh dan label baru diperkenalkan, G-ACh Alert Label (GAL), untuk mengidentifikasi paket pada G-ACh.



Gambar 10.13 Konfigurasi statis atau bidang kontrol dinamis dan SDN.

- **Control Plane**

RFC 5654^[50] menyatakan bahwa jaringan MPLS-TP harus dapat beroperasi tanpa menggunakan control plane. Pada saat yang sama, ia juga harus memiliki kemampuan untuk mengatur penyediaan statis tanpa kehadiran elemen bidang kontrol apa pun. RFC 5921^[44] dan RFC 6373^[51] menyertakan dukungan untuk konfigurasi statis jalur transportasi (LSP dan PW) melalui NMS dan penyediaan dinamis melalui bidang kontrol (Gambar 10.18). Kemampuan mendukung atribut statis dan dinamis ini merupakan salah satu kekuatan utama MPLS-TP. Penyediaan berbasis NMS cukup untuk skenario jaringan sederhana; namun, bidang kontrol akan digunakan saat jaringan berkembang dalam kompleksitas. Motivasi utama menggunakan konfigurasi statis adalah untuk menghilangkan biaya yang terkait dengan memiliki fungsionalitas bidang kontrol yang terintegrasi ke dalam setiap node di seluruh jaringan berbasis IP/MPLS.

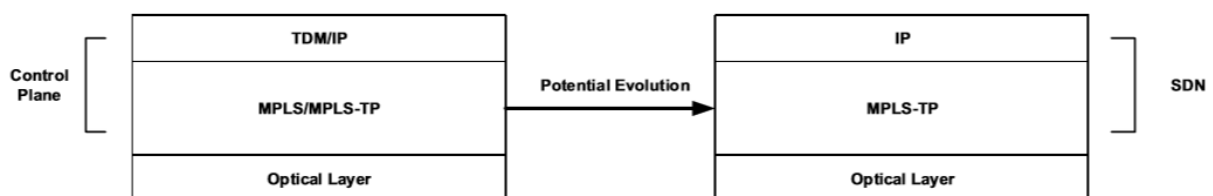
Kontrol dinamis, di sisi lain, mengharuskan semua router di sepanjang jalur harus memiliki memori dan kapasitas yang cukup untuk mendukung berbagai protokol yang dinyatakan dalam RFC 6373. Sifat dinamis dari bidang kontrol akan menambah kompleksitas dan biaya. Peralihan ke SDN akan membuat pengenalan fitur baru lebih mudah karena tidak harus melalui proses standarisasi yang memakan waktu. Pendekatan SDN memungkinkan pemisahan bidang kontrol dan penerusan (data) jaringan untuk mengoptimalkan masing-masing dengan lebih baik.

10.11.5 Proteksi

Perlindungan, seperti namanya, mengacu pada ketersediaan jaringan jika terjadi kesalahan. Mekanisme kelangsungan jaringan ini disebut APS atau Automatic Protection Sw ITC hing. APS melibatkan pemesanan saluran/jalur (didedikasikan atau dibagikan) dengan kapasitas yang sama dengan saluran/jalur asli yang perlu dilindungi. Metode perlindungan dikategorikan berdasarkan topologi (linier atau cincin), sumber daya perlindungan (khusus atau bersama), arah (searah atau dua arah), dan/atau jenis operasional (revertif dan nornevertif). Mekanisme APS dikembangkan dan kemudian diimplementasikan di banyak jaringan transport SDH dan Ethernet. Misalnya, APS umumnya ditentukan oleh ITU-T di G.808.1, dan juga di G.841, G.873.1, dan G.8031 untuk SDH, OTN (Optical Transport Network), dan jaringan Ethernet.

Mirip dengan kasus standardisasi OAM, ITU-T dan IETF berada di jalur yang terpisah, namun, tidak seperti pemisahan antara dua SDO pada masalah OAM, mereka menyatu ke solusi tunggal untuk perlindungan linier. Solusi APS awalnya dipertimbangkan dalam IETF tetapi gagal mencapai konsensus dalam kelompok kerja MPLS^[46]. Namun, Rekomendasi ITU-T G.8131 (2007)^[52] kemudian direvisi sebagai G.8131 (2014)^[53] untuk memungkinkan solusi yang juga didefinisikan dalam IETF RFC 7271^[54]. Solusi ini disebut Koordinasi Perlindungan Otomatis (APC) di G.8131, dan disebut "Koordinasi Status Perlindungan (PSC) dalam "mode Peralihan Perlindungan Otomatis (APS)" di RFC 7271.

"RFC 7271 MPLS-TP Linear Protection" untuk ITU-T mendefinisikan dua jenis mode, yaitu PSC dan APS, di mana mode adalah seperangkat kemampuan yang diberikan. Baik PSC dan APS adalah protokol fase tunggal yang menyiratkan bahwa setiap titik akhir akan memberi tahu rekan-rekannya tentang perubahan jalur operasi (beralih ke atau dari jalur perlindungan). Selanjutnya, peralihan ini akan berlangsung tanpa menunggu pengakuan.



Gambar 10.14 Evolusi MPLS-TP untuk 4G/5G

Rekomendasi G.8131 (2007) diperbarui untuk memungkinkan perbedaan antara APS dan PSC, yang keduanya bersifat operasional, serta yang terkait dengan format bingkai. PSC mengubah beberapa parameter operasional termasuk tingkat prioritas dari berbagai pemicu sw ITC hing proteksi. Misalnya, tidak ada perintah EXER (Latihan) di PSC yang digunakan untuk menguji apakah komunikasi APS berlangsung dengan benar atau tidak. Di PSC, diasumsikan bahwa opsi pengujian serupa harus didukung menggunakan lockout of protection (LO) atau force sw ITC h (FS), dan lalu lintas tidak dapat dipulihkan ketika terjadi kesalahan selama operasi latihan.

Untuk mengurangi tantangan tersebut, Rekomendasi ITU-T menyiapkan G.8131 (2014) yang memungkinkan koeksistensi format frame berbasis APS dan PSC. Solusi terpadu APC melalui G.8131 (2014) sekarang tersedia untuk mengatasi kekurangan yang disebutkan di atas. Rekomendasi ini menyatakan bahwa protokol APC digunakan untuk menggambarkan sarana untuk mengoordinasikan dua ujung domain pelindung melalui pertukaran pesan tunggal dan mewakili protokol PSC dalam mode APS sebagaimana didefinisikan dalam IETF RFC 7271. APC dapat diluncurkan secara bertahap pada jaringan yang telah memiliki PSC memberikan pilihan

kepada operator untuk mendukung PSC, APC atau keduanya sesuai dengan rencana bisnis mereka.

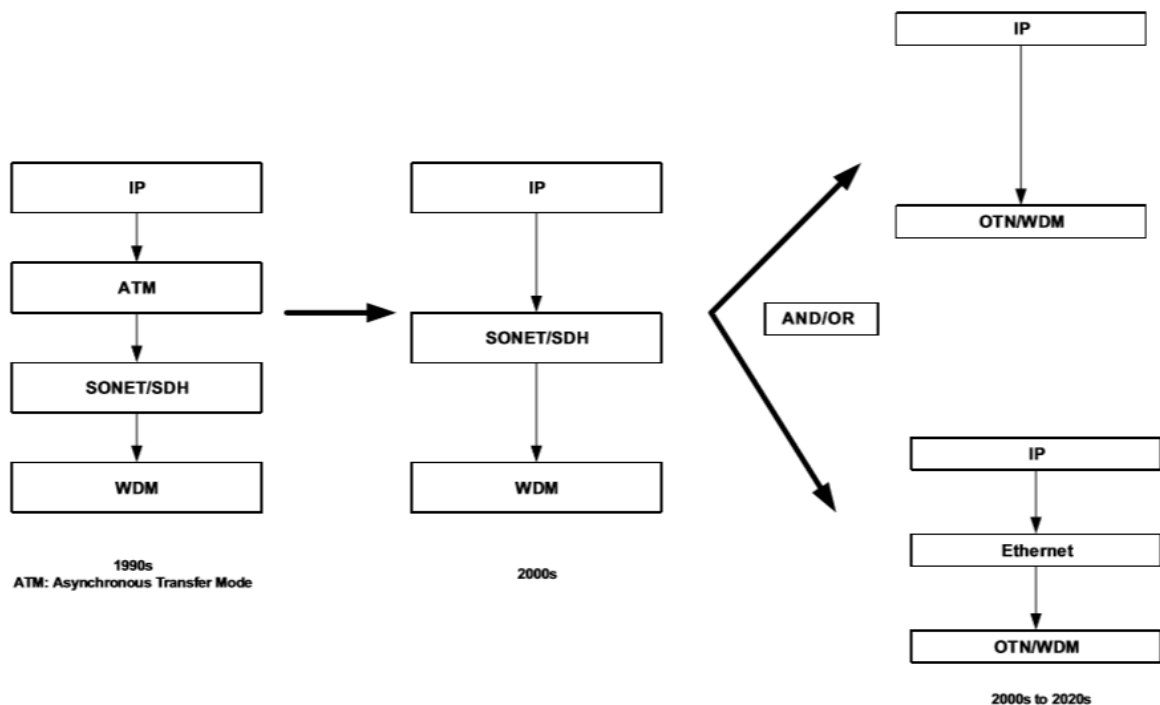
10.11.6 Penggunaan MPLS-TP di 4G/5G

Jaringan MPLS-TP menggunakan arsitektur lapisan yang sepenuhnya memisahkan bidang data dari bidang kontrol dan dapat memudahkan pengenalan teknologi SDN ke lapisan mana pun secara independen, misalnya ke lapisan 3 (IP) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.19. Pemisahan bidang data dan kontrol serta penggunaan SDN diharapkan menjadi bahan penting 5G.

10.12 Jaringan Transportasi Inti

Segmen jaringan transportasi ini menghubungkan kota dan negara sebagian besar melalui serat optik jarak jauh. Konektivitas ini juga dapat disediakan dengan menggunakan leased line yang mendukung STM1 atau tarif yang lebih tinggi. Interkonektivitas ke operator lain di dalam negeri dan ke operator luar negeri dengan kabel bawah laut juga dapat berada di bawah jaringan transportasi inti.

Selanjutnya, akses ke Internet atau ke dunia luar untuk komunikasi suara dan data dapat disediakan melalui tautan lintas batas. Tautan ini dapat dibuat melalui radio gelombang mikro, serat optik, satelit, kabel bawah laut atau kombinasinya. Secara khusus, transit Internet adalah layanan yang memungkinkan lalu lintas jaringan melintasi jaringan komputer yang menghubungkan ISP (Penyedia Layanan Internet) yang lebih kecil ke Internet yang lebih besar. Konektivitas Internet biasanya disediakan melalui perjanjian interkoneksi, yaitu IP Transit dan Peering.



Gambar 10.15 Service layering pada core transport network.

10.13 Pelapisan Layanan di Jaringan Transportasi

Istilah layering biasanya disebut sebagai teknologi sw ITC hing/routing di atas lapisan fotonik. Struktur layering transmisi umum yang digunakan dalam jaringan transport inti adalah

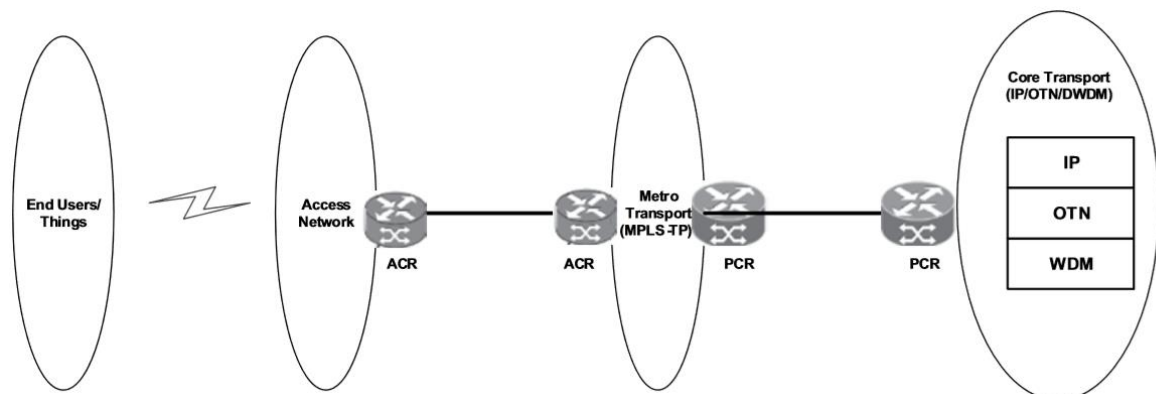
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

IP/MPLS/SDH/DWDM. Dalam domain digital, bisa berarti penggunaan teknik sw ITC hing OTN (Optical Transport Network) (Layer 1), Ethernet sw ITC hing (Layer 2), dan IP routing (Layer 3). Sudah diketahui bahwa ada kebutuhan untuk integrasi yang lebih erat antara routing layer 3 dan optical transport layer 1. Namun, pertanyaan yang membutuhkan jawaban yang bijaksana adalah apakah pengiriman semua jenis layanan melalui router dapat dibenarkan atau perawatan/sw ITC hing Ethernet adalah diperlukan untuk 5G. Evolusi service layering ditunjukkan pada Gambar 10.20.

Tergantung pada kebutuhan bisnis dan layanan, dua model jaringan transportasi inti utama dan yang lebih baru yang digunakan di seluruh dunia adalah^[55]:

- a. IP melalui jaringan DWDM dengan OTN OAM&P (operasi, administrasi, pemeliharaan, dan penyediaan)
- b. Jaringan IP/Ethernet/OTN/DWDM di mana lalu lintas transit terutama diatur/dialihkan oleh elemen jaringan multiplexing/sw ITC hing OTN.

Selanjutnya, konektivitas antara kota-kota yang jauh dicapai melalui dua platform gratis yang bekerja secara independen. Yang pertama adalah platform optik jarak jauh berdasarkan DWDM, ROADM⁵⁹ dan mungkin OTN. Ini bertanggung jawab untuk mengalihkan panjang gelombang dalam domain optik melalui ROADM dan sirkuit dalam domain listrik melalui fungsi koneksi silang OTN. Yang kedua adalah platform paket inti, yang bertanggung jawab untuk mengalihkan paket berlabel MPLS di domain listrik melalui LSR⁶⁰ (Label Sw ITC hing Router).



Gambar 10.16 IP melalui DWDM

10.13.1 IP melalui DWDM

Cara tradisional untuk menghubungkan router ke sistem DWDM adalah melalui transponder. Konsep IP over DWDM, bagaimanapun, didasarkan pada integrasi DWDM atau antarmuka berwaRNA pada router IP. Tidak ada peran untuk lapisan SDH/SONET atau Ethernet dalam konsep ini, sehingga model ini mengurangi keseluruhan TCO (total biaya kepemilikan). Pengurangan biaya dicapai dengan menghilangkan optik abu-abu⁶¹ dan transponder (elemen yang mengirim dan menerima sinyal optik dari serat) yang digunakan dalam sistem router dan

⁵⁹ ROADM (Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer) menambah dan menurunkan panjang gelombang dalam domain optik

⁶⁰ Router dengan kemampuan sw ITC hing seperti itu yang mendukung MPLS disebut Label Sw ITC hing Router atau LSR.

⁶¹ Panjang gelombang abu-abu atau tidak berwaNRa, biasanya 1550 nm
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

DWDM terpisah^[55]. Namun, arsitektur ini membutuhkan router dengan kapasitas perutean yang jauh lebih tinggi untuk agregasi lalu lintas dan tugas penerusan^[56].

Arsitektur ini biasanya sesuai dengan konfigurasi point-to-point dan ring jarak kecil, menghindari regenerasi, di mana perawatan lalu lintas/sw ITC hingga pada node perantara tidak diperlukan dan ketika interworking antara antarmuka WDM di router dan WDM lama tidak ada atau minimal. Namun, IP over DWDM dapat mencapai jarak yang lebih jauh sebagaimana dibuktikan oleh Sprint pada tahun 1998-99^[57].

Untuk mengatasi beberapa tantangan ini, alternatif dapat didasarkan pada optik yang dapat dicolokkan termasuk pembedaan OTN dan FEC (koreksi kesalahan maju). Pembedaan OTN digunakan untuk memastikan interoperabilitas antarmuka waRNA terintegrasi sementara FEC digunakan untuk menempuh jarak jauh. OTN, sebagaimana didefinisikan dalam Rekomendasi ITU-T G.709, menambahkan fungsionalitas OAM&P ke operator optik khususnya dalam sistem DWDM. FEC^[58] juga memainkan peran kunci dalam memastikan transmisi informasi yang andal dan kini telah menjadi teknologi penting untuk sistem komunikasi optik. Penggunaan deteksi koheren^[59] dalam serat optik memungkinkan penggunaan FEC keputusan lunak. Sistem serat optik 100G dan 400G menggunakan deteksi yang koheren, menjadikan FEC keputusan lunak sebagai teknologi mitra yang tepat.

Gambar 10.21 menunjukkan arsitektur IP over DWDM dengan Aggregation Exchange Routers (ACR)/Sw ITC dan Packet Core Routers (PCR). Router/sw ITC ini mengumpulkan lalu lintas dari pengguna akhir atau hal-hal yang menggunakan antarmuka 10/100 Gbps dan menjatuhkannya pada cincin serat optik metro yang kemudian mentransfernya ke jaringan inti IPoDWDM. Setiap sinyal yang membutuhkan transmisi melalui DWDM lebih disukai dapat dipetakan pada node OTN dan kemudian diangkut melalui DWDM.

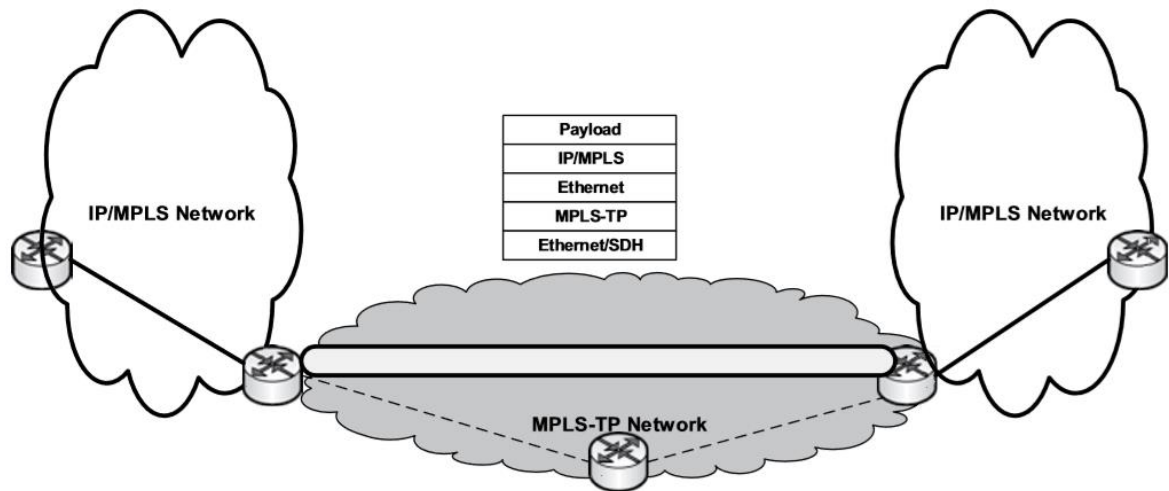
10.13.2 IP melalui Ethernet melalui DWDM

Pendekatan kedua didasarkan pada penggunaan teknologi Ethernet bersama dengan IP, OTN, dan DWDM, yaitu empat lapisan yang berbeda. Dalam model ini, lapisan Ethernet berdasarkan MPLS-TP, PBB-TE⁶², Ethernet tradisional atau Ethernet pembawa mendukung agregasi L2 dengan OAM standar dan mekanisme perlindungan. Kemampuan utama agregasi L2 adalah dukungan untuk multiplexing statistik yang memungkinkan bandwidth untuk dibagi secara sewenang-wenang di antara pengguna dan menggunakan kabel/media optik hanya ketika ada data yang perlu dikirim. Ini pada dasarnya berbeda dari pendekatan agregasi L1 (multipleks waktu atau frekuensi) di mana jumlah pengguna dan kecepatan data tetap. Konsentrasi lalu lintas di L2 ini memungkinkan lalu lintas ditransfer ke router inti IP dengan beberapa antarmuka berkecepatan tinggi daripada melalui banyak antarmuka berkapasitas lebih rendah, dan ini pada gilirannya, menyederhanakan prosedur OAM. Selanjutnya, dalam model ini, lalu lintas disimpan dalam bentuk aslinya, yaitu dalam bentuk paket dan semua perawatan, agregasi, dan sw ITC hingga dilakukan di L2^[55,56].

Meskipun model integrasi multi-layer ini tampaknya lebih rumit daripada pendekatan IPoDWDM, model ini dapat menggandakan lalu lintas sirkuit dan paket, memberikan skema perlindungan dan OAM yang lebih ditingkatkan daripada SONET/SDH, dan perawatan sub-lambda untuk memaksimalkan pemanfaatan panjang gelombang melalui OTN. WDM bersama

⁶² Penyedia Rekeyasa Lalu Lintas Jembatan Tulang Belakang (PBB-TE).
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

dengan ROADM selanjutnya memungkinkan transmisi layanan klien melalui panjang gelombang apa pun dan ke segala arah.



Gambar 10.22 Pendekatan Overlay.

10.13.3 Interworking antara MPLS dan MPLS-TP

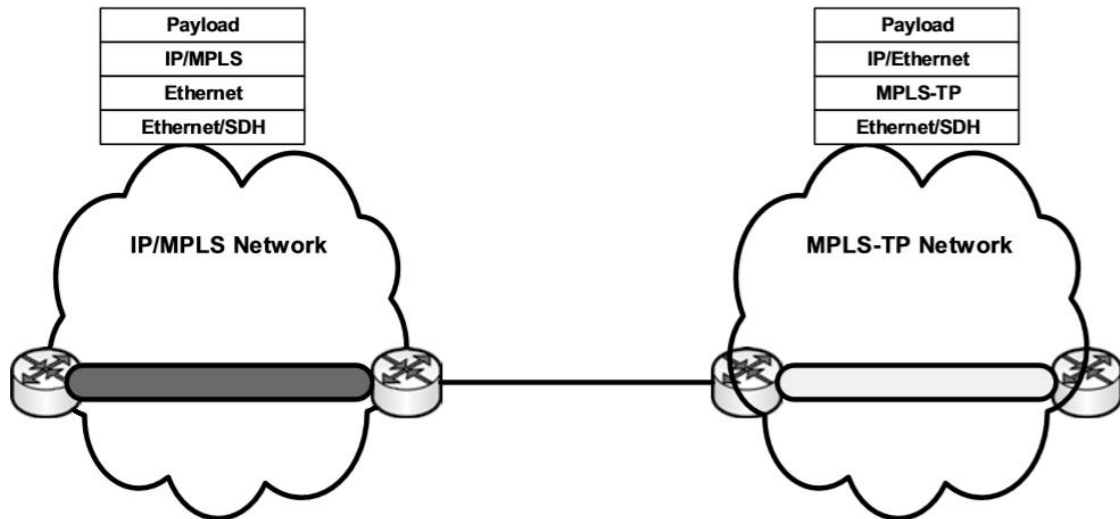
Untuk menyediakan layanan end-to-end, preferensi tetap berada pada IP/MPLS pada level inti dan MPLS-TP pada area akses/agregasi. Ini membutuhkan interworking antara dua teknologi yang dapat dicapai dengan dua cara.

Pendekatan pertama disebut 'model overlay', yang digunakan ketika jaringan IP/MPLS dibawa melalui MPLS-TP atau jaringan MPLS-TP dibawa melalui IP/MPLS. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.22, overlay adalah lapisan layanan dari satu jaringan (misalnya, MPLS-TP) untuk jaringan lain (misalnya, IP/MPLS). Setelah enkapsulasi pada node batas jaringan, data lapisan klien (termasuk data bidang kontrol dan data bidang transportasi) ditransmisikan secara transparan ke simpul batas jaringan lapisan layanan yang sesuai melalui saluran lapisan layanan. Jaringan lapisan layanan diartikulasikan sebagai hop dari jaringan lapisan klien, yaitu, dua node batas dalam jaringan lapisan layanan dianggap sebagai node yang berdekatan dalam jaringan lapisan klien.

Pendekatan kedua disebut 'model peering,' yang digunakan ketika jaringan pelanggan dilakukan sebagian melalui subjaringan IP/MPLS (misalnya, melalui enkapsulasi PW) dan sebagian melalui subjaringan MPLS-TP (subdivisi logis yang terlihat dari jaringan IP). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.23, kedua jaringan adalah rekan dalam model dan secara independen memproses data di jaringan mereka sendiri, sementara node batas jaringan memetakan informasi antara dua jaringan untuk mengirimkan data. Detail tentang interworking dapat ditemukan di^[60,61].

10.14 Integrasikan IP dan Optikal

Konsep integrasi IP-Optical telah ada selama hampir dua dekade. Namun, itu belum berkembang sepenuhnya terutama karena investasi saat ini dalam model tradisional yang mencapai triliunan rupiah dan integrasi longgar antara paket dan organisasi transportasi optik dari penyedia layanan.



Gambar 10.23 Pendekatan Peering

Membangun infrastruktur jaringan umum, yang dibangun dengan campuran paket dan lapisan DWDM, mungkin merupakan tujuan akhir bagi penyedia layanan, tetapi kenyataannya adalah ada berbagai cara untuk mencapai target. Vendor dan penyedia layanan memiliki pandangan yang berbeda tentang tujuan IP dan Konvergensi Optik (IPOC). Vendor router lebih tertarik untuk menempatkan transponder optik dan sw ITC hing OTN di router inti, sementara vendor optik-sentris mendorong integrasi packet sw ITC hing ke platform jaringan optik. Komunitas penyedia layanan juga tidak sependapat dan mengambil pendekatan hati-hati yang tidak mengganggu tim paket dan transportasi yang tidak terbiasa bekerja di lingkungan jaringan yang terkonvergensi. Saat ini, arsitektur penyedia layanan sebagian besar didasarkan pada IP terpisah dan lapisan jaringan optik yang biasanya dirancang dan beroperasi secara independen. Masalah dengan jaringan transportasi IP dan optik yang terpisah adalah overhead sumber daya yang tidak perlu yang diciptakannya. Pada dasarnya, setiap jaringan memiliki mekanisme kontrol dan manajemennya sendiri, yang mengarah pada penggunaan sumber daya yang tidak efisien dan peningkatan kompleksitas^[57,62,63].

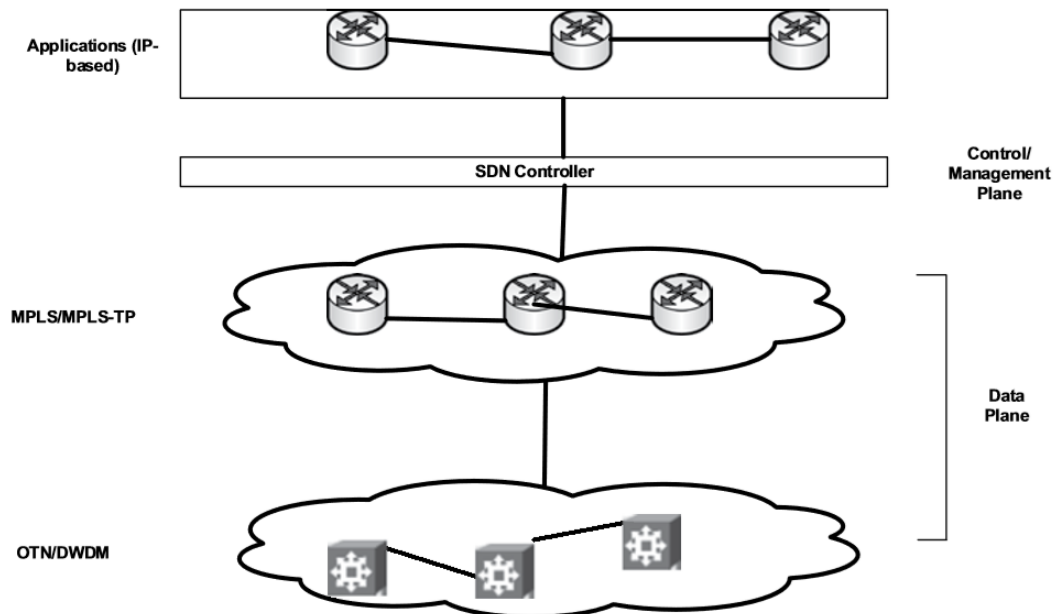
Sementara beberapa langkah telah dilakukan untuk mengintegrasikan dua jaringan transportasi, solusi terintegrasi penuh yang mencakup integrasi logis dari semua bidang—data, kontrol, dan manajemen—masih diperlukan. Ini pada akhirnya akan mengarah pada konvergensi skala penuh dari IP dan lapisan jaringan optik. IPOC menawarkan keuntungan operasional yang signifikan karena memungkinkan lapisan jaringan yang berbeda untuk beroperasi dalam satu langkah. Hal ini, pada gilirannya, akan mengarah pada peningkatan kecepatan layanan, pengurangan waktu ke pasar, optimalisasi pemanfaatan sumber daya, penurunan total biaya kepemilikan, dan akhirnya energi penerapan 5G.

10.14.1 Tantangan dan Pemberdaya IPOC

Gerakan SDN saat ini di industri telekomunikasi menawarkan solusi yang sangat dibutuhkan untuk mencapai otomatisasi tingkat tinggi yang dibutuhkan jaringan modern untuk sistem IP dan optik. SDN memisahkan kontrol jaringan dari perangkat keras ke perangkat lunak dan memungkinkan operator menggunakan konsol kontrol terpusat untuk membentuk lalu lintas yang memprioritaskan atau mengurangi prioritas/memblokir paket pada tingkat yang terperinci. Namun, pendekatan yang sepenuhnya terkonvergensi membutuhkan integrasi data, kontrol, dan bidang manajemen, yang belum selesai (Gambar 10.24).

10.14.2 Data Plane

Integrasi bidang data paket dan optik dicapai dengan mengasimilasi DWDM atau antarmuka berwaRNA ke dalam router IP. Model ini (yaitu, IP over DWDM) masuk akal jika lalu lintas adalah semua-IP dan ada integrasi organisasi yang kuat antara paket dan organisasi transportasi. Penyedia layanan besar dan lama akan terus menangani banyak SDH/SONET untuk waktu yang lama, dan tidak selalu ada banyak kohesi organisasi di perusahaan besar seperti itu.



Gambar 10.24 Pendekatan terintegrasi IP-Optik.

Selain kelebihanannya, model ini juga memiliki beberapa kekurangan. Pendekatan ini memerlukan sejumlah kartu jalur router yang berbeda untuk memungkinkan berbagai jenis optik seperti 10G, 40G, 100G, dan 400G yang mencakup jarak dari 10 hingga 1000 km. Untuk mengurangi biaya pengembangan untuk memproduksi jumlah kartu yang berbeda ini, modul optik yang dapat dipasang dapat digunakan. Modul-modul ini hadir dalam beberapa varian untuk memungkinkan kecepatan dan jarak data yang berbeda. Pada saat yang sama, perlu diingat bahwa perkembangan penerusan paket dan serat optik biasanya tidak terjadi secara bersamaan, sehingga menurunkan produktivitas kartu karena tidak dapat memanfaatkan kemajuan teknologi terkini^[63].

Sejalan dengan itu, integrasi bidang data dapat mengalami penguncian vendor. Antarmuka lapisan fisik berfungsi sebagai titik demarkasi antara vendor. Jika ada lebih sedikit antarmuka, itu bisa menghasilkan lebih sedikit modularitas. Dengan demikian, industri mungkin perlu menemukan keseimbangan antara integrasi bidang data dan modularitas/interoperabilitas yang realistis ketika vendor yang berbeda hadir dalam jaringan. Pendekatan tautan hitam yang didefinisikan dalam Rekomendasi ITU-T G.698.2^[64] mungkin berguna; ini menghilangkan transponder dan menyediakan antarmuka optik Ss dan Rs⁶³. Setiap jalur dari Ss ke Rs yang sesuai harus sesuai dengan nilai parameter dari kode aplikasi.

10.14.3 Kontrol Pesawat Multi-Lapisan

⁶³ Ss adalah titik referensi saluran tunggal pada input cabang elemen jaringan DWDM sedangkan Rs adalah titik referensi saluran tunggal pada keluaran elemen jaringan DWDM.

Bidang kontrol multi-layer akan memungkinkan koordinasi yang lebih baik antara lapisan transport optik dan lapisan kliennya (yaitu, IP) dalam kasus ini. Pendekatan ini akan mengurangi TCO dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya bandwidth.

Sebuah bidang kontrol dapat diimplementasikan dalam banyak cara dalam arsitektur konvergensi IP optik. Misalnya, rangkaian protokol GMPLS memungkinkan penyediaan otomatis untuk layanan yang menggunakan sumber daya di beberapa lapisan jaringan, dan juga merupakan bidang kontrol standar pertama untuk jaringan optik yang dialihkan panjang gelombang (WSONs)⁶⁴. Selain itu, bidang kontrol multi-lapisan terintegrasi menyediakan pemilihan jalur jika terjadi kegagalan jaringan dan kemampuan pensinyalan melalui kelincahan perangkat lunak. SDN yang telah distandarisasi meningkatkan skalabilitas dan menyederhanakan operasi. SDN memisahkan kontrol jaringan dari perangkat keras ke perangkat lunak dan memungkinkan operator untuk menggunakan konsol terpusat untuk manajemen lalu lintas⁶⁵. Bidang kontrol semuanya terpisah dari bidang data/forwarding untuk semua teknologi sw ITC hing dan antarmuka standar. Kontroler di SDN memiliki cakupan yang lebih luas daripada control plane ASON⁶⁵/GMPLS dan perlu mendukung fungsi tambahan seperti NFV⁶⁶[66].

10.14.5 Manajemen Pesawat

Bidang manajemen dari L0-L2 jauh lebih kuat daripada L3 (lapisan IP). Lapisan IP secara tradisional dikelola melalui fungsi CLI (antarmuka baris perintah). Pembuatan layanan juga biasanya memerlukan akses ke dua sistem manajemen jaringan yang berbeda. Targetnya adalah untuk mengembangkan sistem penyediaan terintegrasi multi-lapisan tunggal. SDN, yang sedang dalam pengembangan, dirancang untuk menyediakan dan mengonfigurasi jalur dan layanan dalam jaringan terkonvergensi. Namun, diperlukan sistem manajemen yang komprehensif yang dapat mengatasi konvergensi IPOC yang sebenarnya dan pada saat yang sama dapat ditingkatkan untuk mendukung 5G.

10.15 Kesimpulan

Campuran teknologi transportasi akan digunakan untuk membawa lalu lintas 5G. Backhaul diharapkan menjadi hambatan utama yang diperlukan untuk mendukung lingkungan HetNet 5G yang padat. Sel kecil dan BTS tradisional dapat menggunakan radio gelombang mikro pita frekuensi rendah, tetapi untuk sebagian besar, radio e-band dan/atau serat akan diperlukan. MPLS-TP dan arsitektur konvergensi IP-Optik sejati dengan SDN mungkin diperlukan untuk jaringan 5G.

10.16 Pertanyaan

1. Tentukan domain utama dari jaringan transportasi?
2. Berapakah bandwidth saluran minimum dan maksimum radio e-band? Diskusikan ukuran saluran yang paling cocok untuk penyebaran radio e-band?
3. Tentukan teknik untuk lisensi tautan radio e-band dan berikan setidaknya dua contoh.
4. Sebutkan perbedaan utama antara produk radio e-band generasi ke-1 dan ke-2?
5. Apa tantangan propagasi utama pada frekuensi e-band seperti itu?

⁶⁴ WSON merupakan jaringan telekomunikasi yang terdiri dari dua plane yaitu data dan control.

⁶⁵ ASON (Automatically Sw ITC hed Optical Network) adalah bidang kontrol untuk lapisan SDH dan OTN.

⁶⁶NFV is a concept for virtualization network services that are currently being carried out by proprietary/dedicated hardware.

6. Tautan radio gelombang mikro line-of-sight memiliki ketersediaan waktu 99,99%. Apa yang tidak tersedia dalam persentase dan dalam menit?
7. Berapakah kerugian ruang bebas pada 70 GHz untuk tautan 2 km? Apakah lebih dari kerugian pada 80 GHz?
8. Bagaimana ketersediaan tautan radio gelombang mikro 83,5 GHz yang beroperasi pada jarak 1,5 km? Daya pancar adalah 20 dBm, penguatan antena sebesar 45 dBi, kerugian pemancar/penerima (kabel, konektor, dll.) sebesar 1,2 dB, kerugian lain-lain sebesar 0 dB, dan kerugian jalur sebesar 134,32 dB. Sensitivitas penerima adalah 64 dBm @ 10⁻⁶ bit tingkat kesalahan dengan modulasi 16-QAM untuk mendukung lalu lintas 1 Gbps dalam bandwidth saluran 250?
9. Apa tujuan utama IETF untuk mengembangkan MPLS-TP?
10. Apa itu MPLS-TP dan apa bedanya dengan MPLS?
11. Jelaskan elemen kunci dan fungsi MPLS-TP?
12. Jelaskan pendekatan interworking MPLS dan MPLS-TP?
13. Jelaskan perbedaan utama antara kedua standar MPLS-TP OAM?
14. Apa saja pilihan utama untuk mengelola dan mengendalikan operasi MPLS-TP?
15. Apa yang dimaksud dengan pengalihan perlindungan otomatis dan daftar beberapa jaringan yang telah diimplementasikan.
16. Apa dua model layering layanan utama yang ada di jaringan transport inti? 2
17. Definisikan konsep IP over DWDM?
18. Tentukan jaringan IP/Ethernet/OTN/DWDM?
19. Tentukan konvergensi IP dan Optik?
20. Jelaskan peran SDN untuk jaringan transportasi?

10.17 Referensi

1. Asif, S. et al. 2009. An Evaluation of Future Mobile Networks Backhaul Options. 5th Int'l. Conference Wireless and Mobile Communications, Cannes/La Bocca, France, Aug. 23–29, 2009, pp. 146–51
2. NGMN 2011. A White Paper by the NGMN Alliance—Guidelines for LTE Backhaul Traffic Estimation.
3. Sharma, S. 2014. Integrated Backhaul Management for Ultra-Dense Network Deployment (Master Thesis Report), KTH Royal Institute of Technology.
4. Basit, S.A. 2009. Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution Radio Interface (Master Thesis), Helsinki University of Technology.
5. Allen, J., Chevalier, F. and Bora, B. 2014. Mobile Backhaul Market: Phase 1 Report (Report for Vodafone), Analysys Mason.
6. Croy, P. 2011. LTE Backhaul Requirements: A Reality Check. Aviat Networks, Inc, California, USA.
7. Penttinen, J.T.J. 2011. The LTE/SAE Deployment Handbook, Wiley, UK.
8. Penttinen, J.T.J. 2015. The Telecommunications Handbook: Engineering Guidelines for Fixed, Mobile and Satellite Systems, Wiley, UK.

9. Wiltse, J.C. 1984. History of Millimeter and Submillimeter Waves. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 32(9):1118–1127
10. Rosenblum, E.S. 1961. Atmospheric Absorption of 10–400 KMCPs Radiation: Summary and Bibliography to 1961. Microwave Journal, 4:91–96, Mar. 1961.
11. ECC Recommendation (05)07 2009. Radio Frequency Channel Arrangements for Fixed Service Systems Operating in the Bands 71–76 and 81–86 GHz, ECC with CEPT.
12. ETSI EN 302 217-3 (V1.3.1) 2009. Fixed Radio Systems; Characteristics and Requirements for Point-to-Point Equipment and Antennas; Part 3: Equipment Operating in Frequency Bands where Both Frequency Coordinated or Uncoordinated Deployment Might be Applied; Harmonized EN Covering the Essential Requirements of Article 3.2 of the R&TTE Directive, ETSI.
13. NEC. iPasolink EX.
<http://www.nec.com/en/global/prod/nw/pasolink/products/ipasolinkEX.html>
14. Proakis, J.G. and Salehi, M. 1994. Communications Systems Engineering. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
15. Wells, J. 2010. Light Licensing. E-Band Communications Corporation, California, USA.
16. Lehpamer, H. 2002. Transmission Systems Design Handbook for Wireless Networks. Artech House, Inc., Norwood, MA, USA.
17. Asif, S.Z. 2015. E-band Microwave Radios for Mobile Backhaul. International Journal Wireless and Microwave Technologies, 2015(4):37–46.
18. Adhikari, P. 2008. L1104-WP: Understanding Millimeter Wave Wireless Communication. Loea Corporation, Hawaii, USA.
19. Johnson, E. 2013. Mobile Data Backhaul: The Need for E-Band. Sky Light Research, Arizona, USA.
20. Bridgewave. 80 GHz Wireless. <http://www.bridgewave.com/products/80ghz.cfm>
21. E-Band Communications, LCC. 4G Evolution Series. <http://www.e-band.com/ProductOverview>
22. Huawei. E-band Microwave. <http://www.huawei.com/en/solutions/broader-smarter/hw-196711.htm>
23. NEC. iPasolink EX.
<http://www.nec.com/en/global/prod/nw/pasolink/products/ipasolinkEX.html>
24. SiAE. ALFOplus80 series. <https://www.siaemic.com/index.php/products-services/telecomsystems/microwave-product-portfolio>
25. ITU-R 2012. Recommendation ITU-R P.530-14 Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Terrestrial Line-of-Sight Systems
26. ITU-R 2005. Recommendation ITU-R P.838-3 Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods.
27. 4Gon Solutions 2013. Path Loss, Link Budget & System Operating. http://www.4gon.co.uk/solutions/technical_path_loss_link_budget_som.php
28. LightPointe 2010. Millimeter-Wave (MMW) Radio Transmission: Atmospheric Propagation, Link Budget and System Availability.
29. ITU-R 2001. Recommendation ITU-R P.676-5 Attenuation by Atmospheric Gases. 30.

30. CCIR (ITU-R) 1978. Attenuation and Scattering by Precipitation and Other Atmospheric Particles, Report 721, in Vol. V, Propagation in Non-Ionized Media, Recommendations and Reports of the CCIR, 1978, pp. 107–115.
31. Recommendation ITU-R PN.837-1 1994. Characteristics of Precipitation for Propagation Modeling (Question ITU-R 201/3).
32. Freeman, R.L. 2006. Radio System Design for Telecommunications, Third Edition. Wiley Inc., UK.
33. Tjelta, T., Tran, D.V. and Tanem, T. 2012. Radiowave Propagation and Deployments Aspects of Gigabit Capacity Radio Links Operating at 70/80 GHz. IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), Cape Town, South Africa, September 2–7, 2012, pp. 412–415.
34. Tjelta, T. 2009. Measured Attenuation Data and Predictions for a Gigabit Radio Link in the 80 GHz Band. 3rd European Conference on Antennas and Propagation, Berlin, Germany, March 23–27, 2009, pp. 657–661.
35. Asif, S. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
36. Faisal, N. et al. 2013. Third Successive Active Monsoon over Pakistan—An Analysis and Diagnostic Study of Monsoon 2012. Pakistan Journal of Meteorology, 9(18):73–84.
37. IETF RFC 2544 1999. Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices.
38. Pakistan Telecom Authority. Telecom Indicators. http://www.pta.gov.pk/index.php?option=com_content&task=view&id=269&Itemid=658
39. GSMA 2016. Country Overview: Pakistan—A digital future.
40. Kowalke, M. 2014. Microwave Transmission Evolves Thanks to New Ring Topology Standard, Next Generation Communications. <http://next-generation-communications.tmcnet.com/topics/serviceprovider/articles/382733-microwave-transmission-evolves-thanks-new-ring-topology-standard.htm>
41. Hubbard, S. 2011. MPLS-TP in Next-generation Transport Networks, Heavy Reading, New York, USA.
42. RFC 5921 2010. A Framework for MPLS in Transport Networks, IETF, July
43. RFC 5317 2009. Joint Working Team (JWT) Report on MPLS Architectural Considerations for a Transport Profile, IETF, February.
44. RFC 5921 2010. A Framework for MPLS in Transport Networks, MPLS Working Group, July.
45. RFC 3985 2005. Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge (PWE3) Architecture, March.
46. King, D. et al. 2014. MPLS-TP Linear Protection for ITU-T and IETF. IEEE Communications Magazine, 52(12):16–21.
47. ITU-T G.8113.1/Y.1372.1 2012. Operations, Administration and Maintenance Mechanism for MPLS-TP in Packet Transport Networks, November
48. ITU-T G.8113.2/Y.1372.2 2015. Operations, Administration—Transport and Maintenance Mechanisms for MPLS-TP Networks using the Tools Defined for MPLS, August.
49. ITU-T G.8013/Y.1731 2015. OAM Functions and Mechanisms for Ethernet based Networks, August.
50. RFC 5654 2009. MPLS-TP Requirements, Network Working Group, September.

51. RFC 6373 2011. MPLS Transport Profile (MPLS-TP) Control Plane Framework, September.
52. ITU-T G.8131/Y.1382 2007. Linear Protection Switching for Transport MPLS (T-MPLS) Networks, February.
53. ITU-T G.8131/Y.1382 2014. Linear Protection Switching for MPLS Transport Profile, July.
54. RFC 7271 2014. MPLS Transport Profile (MPLS-TP) Linear Protection to Match the Operational Expectations of Synchronous Digital Hierarchy, Optical Transport Network, and Ethernet Transport Network Operators, June.
55. Rios, F.J. et al. 2014. IP and Optical Convergence: Use Cases and Technical Requirements, White Paper.
56. Tzanakaki, A. et al. 2014. MS103 (MJ1.1.1) White Paper—Future Network Architectures, Document Code: GN3PLUS14-976-35.
57. Asif, S.Z. et al. 1999. The Optical Internet: A New Network Architecture. 15th Annual National Fiber Optics Engineers Conference, Chicago, IL, USA, Sept. 26–30, 1999
58. Huawei 2015. Soft-Decision FEC: Key to High-Performance 100G Transmission—FEC Ensures Reliable Transmission. http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_112021
59. ACG Research 2012. Why Service Providers Should Consider IPoDWDM for 100G and Beyond.
60. ZTE 2013. Technical Whitepaper on IP MPLS and MPLS-TP Interoperability.
61. Azizi, M., Benaini, R. and Mamoun, M.B. 2013. Key Requirements for Interworking between MPLS-TP Network and IP/MPLS Network. International Journal of Engineering and Technology, 5(4):3351–3358.
62. Cisco 2013. Cisco Open Network Environment: IP and Optical Convergence.
63. Ericsson 2014. IP-Optical Convergence: A Complete Solution, Ericsson Review.
64. ITU-T G.698.2 2009. Amplified Multichannel Dense Wavelength Division Multiplexing Applications with Single Channel Optical Interfaces, November.
65. FierceTelecom 2013. Converging the Optical Core to IP.
66. Optical Interworking Forum 2013. OIF Carrier WG Requirements on Transport Networks in SDN Architectures Transport SDN, September.

BAB 11

JARINGAN CORE DAN SISTEM DUKUNGAN OPERASIONAL

Jaringan inti adalah segmen yang menghubungkan RAN dengan server aplikasi in-house operator, subsistem multimedia IP atau Internet. Ini terdiri dari elemen circuit-sw ITC hed dan packet-sw ITC hed. Secara historis, ini hanya mendukung layanan circuit sw ITC hed (CS), tetapi kemudian dengan munculnya 3G mulai mendukung layanan packet-sw ITC hed (PS) juga. Sistem LTE dan 4G hanya membutuhkan dukungan PS dan seiring berjalannya waktu, jaringan inti diharapkan hanya menyediakan layanan IP/Ethernet.

Gambar 11.1 menjelaskan evolusi jaringan inti dari 2G ke 5G berdasarkan standar 3GPP. Sistem 2G awal hanya mendukung CS dengan elemen kunci seperti MSC dan SMSC, dan elemen umum HLR, VLR, EIR, dan SGW. Untuk mendukung layanan data, SGSN dan GGSN diperkenalkan pada 3GPP Release-99 yang merupakan rilis pertama di UMTS (3G). Release-4 (2001) membagi MSC menjadi dua elemen fungsional, yaitu, server MSC untuk pensinyalan dan fungsi gateway media sebagai bidang pengguna untuk mengurangi tantangan operasional. Kemudian, Rilis-5 (2002) membawa IMS, yang terutama dikembangkan untuk perangkat 3G seluler yang berkomunikasi melalui IP dengan klien SIP tertanam. Dalam Rilis-6 (2005), node fungsional baru, yaitu, BM-SC (Pusat Layanan Multicast Broadcast), ditambahkan untuk mendukung MBMS. Release-7 (2007) memperkenalkan konsep tunneling langsung yang memungkinkan pemisahan antara bidang kontrol dan bidang pengguna menuju jaringan inti paket.

LTE (Release 8) menghadirkan EPC yang hanya dirancang untuk mendukung layanan PS termasuk elemen seperti MME untuk mengelola mobilitas dan identitas peralatan pengguna dan Gateway (Serving and Packet) untuk perutean paket dan menghubungkan ke jaringan eksternal, masing-masing. Rel-9, Rel-10 (LTE-Advanced/4G), Rel-11, dan Rel-12 tidak membawa perubahan arsitektur yang mendasar pada EPC. Rel-13 telah memperkenalkan konsep Dedicated Core Network (DCN) bersama dengan network slicing yang akan dijelaskan nanti di bab ini. Spesifikasi pada jaringan inti 5G diharapkan dapat diselesaikan pada Rel-15 (2018) dan Rel-16 (2020). Untuk 5G, kami mungkin melihat EPC atau jaringan inti masuk ke Cloud yang didukung oleh teknologi seperti SDN dan NFV, menangani semua jenis layanan berbasis IP.

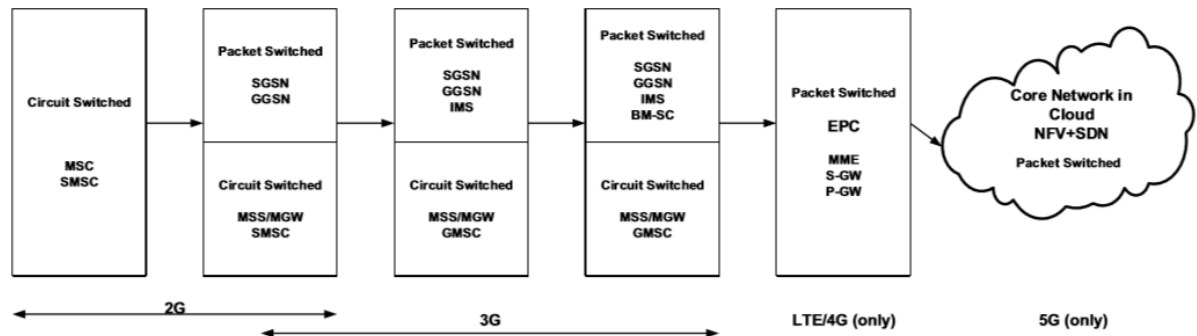
Bab ini memberikan gambaran singkat tentang EPC, evolusi EPC, dan evolusi IMS, sedangkan detail tentang jaringan inti dapat ditemukan di^[1]. Selain itu, bab ini juga secara singkat menyajikan wawasan tentang jaringan inti 5G, CDN (Content Delivery Network), dan LTE dan 5G OSS/BSS (Sistem Dukungan Operasional/Bisnis).

11.1 Paket Core yang Berevolusi

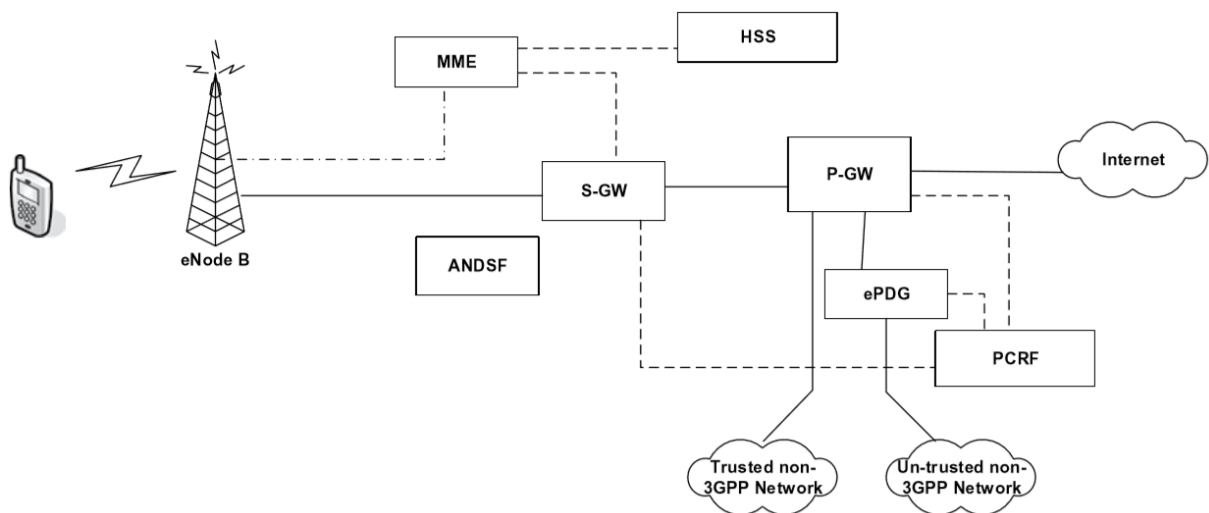
3GPP Rel-8 menghasilkan EPC untuk mendukung LTE dan hanya lalu lintas packet-sw ITC hed^[2,3]. EPC terdiri dari dua entitas utama, yaitu MME dan Gateway seperti diilustrasikan pada Gambar 11.2. MME mendukung fungsionalitas bidang kontrol seperti SSGN, dan terpisah dari node yang menjalankan fungsi bidang pembawa, yaitu Gateway (GW). Fungsi utama EPC adalah sebagai berikut:

Fungsi utama MME adalah untuk mengatur mobilitas UE dan identitas UE. Itu juga melakukan autentikasi dan otorisasi; pelacakan dan jangkauan UE mode siaga; negosiasi keamanan; dan

pensinyalan NAS (Non Access Stratum)⁶⁷. Ini terhubung ke EUTRAN melalui antarmuka S1-MME.



Gambar 11.1 Evolusi jaringan inti



Gambar 11.2 Inti paket yang berevolusi.

S-GW terhubung ke EUTRAN melalui antarmuka S1-U. Untuk setiap UE yang terkait dengan EPS, pada titik waktu tertentu, ada satu S-GW tunggal. S-GW merutekan dan meneruskan paket data pengguna, sementara juga bertindak sebagai jangkar mobilitas untuk pesawat pengguna selama serah terima antar-eNodeB dan sebagai jangkar untuk mobilitas antara teknologi antar-3GPP. Untuk UE status idle, S-GW mengakhiri jalur data downlink dan memicu paging saat data downlink tiba untuk UE. Ini mengelola dan menyimpan konteks UE, misalnya, parameter layanan pembawa IP dan informasi perutean internal jaringan. Itu juga melakukan replikasi lalu lintas pengguna jika terjadi intersepsi yang sah.

Paket Gateway (PGW) berfungsi sebagai titik masuk dalam EPS (Evolved Packet System). Ini terhubung ke PDN eksternal, IMS operator, dan layanan IP non-IMS, dan menyediakan akses untuk jaringan IP non-3GPP tepercaya dan tidak tepercaya. Ini bertindak sebagai jangkar untuk mobilitas antara sistem akses 3GPP dan non-3GPP. PGW melakukan penegakan kebijakan, pemfilteran paket (dengan, misalnya, inspeksi paket mendalam⁶⁸) untuk setiap pengguna,

⁶⁷ NAS adalah lapisan fungsional dalam tumpukan protokol telekomunikasi nirkabel UMTS dan LTE antara jaringan inti dan peralatan pengguna. Lapisan ini digunakan untuk mengatur pembentukan sesi komunikasi dan untuk menjaga komunikasi terus menerus dengan peralatan pengguna saat bergerak [4].

⁶⁸ Inspeksi Paket Dalam memungkinkan fungsi keamanan tingkat lanjut serta penambahan data InteNRet, penyadapan, dan penyensoran

dukungan pengisian daya, dan intersepsi yang sah. Ini juga melakukan pemasaran paket tingkat transportasi di uplink dan downlink.

EPC juga terdiri dari elemen-elemen berikut untuk mendukung otentikasi dan manajemen mobilitas^[4].

HSS (Home Subscriber Server) adalah database pusat yang berisi informasi terkait pengguna dan langganan. Fungsi HSS mencakup fungsionalitas seperti manajemen mobilitas, dukungan pembentukan panggilan dan sesi, otentikasi pengguna, dan otorisasi akses. HSS didasarkan pada Pra-Rel-4 Home Location Register (HLR) dan Authentication Center (AuC).

ANDSF (Access Network Discovery and Selection Function) memberikan informasi kepada UE tentang konektivitas ke 3GPP lain dan juga ke jaringan akses non-3GPP (seperti WiFi). Tujuan ANDSF adalah untuk membantu UE menemukan jaringan akses di sekitarnya dan memberikan aturan (kebijakan) untuk memprioritaskan dan mengelola koneksi ke jaringan ini.

Fungsi utama ePDG (Evolved Packet Data Gateway) adalah untuk mengamankan transmisi data dengan UE yang terhubung ke EPC melalui akses non-3GPP yang tidak tepercaya. Untuk tujuan ini, ePDG bertindak sebagai simpul terminasi terowongan IPsec⁶⁹ yang dibuat dengan UE.

Fungsi Kebijakan dan Aturan Pengisian (PCRF) adalah komponen opsional yang dapat didukung bahkan ketika IMS tidak didukung. Ini menentukan aturan kebijakan dalam jaringan multimedia secara real time. Ini juga mendukung deteksi aliran data layanan, penegakan kebijakan, dan pengisian berbasis aliran.

11.2 Fitur Jaringan Utama Core

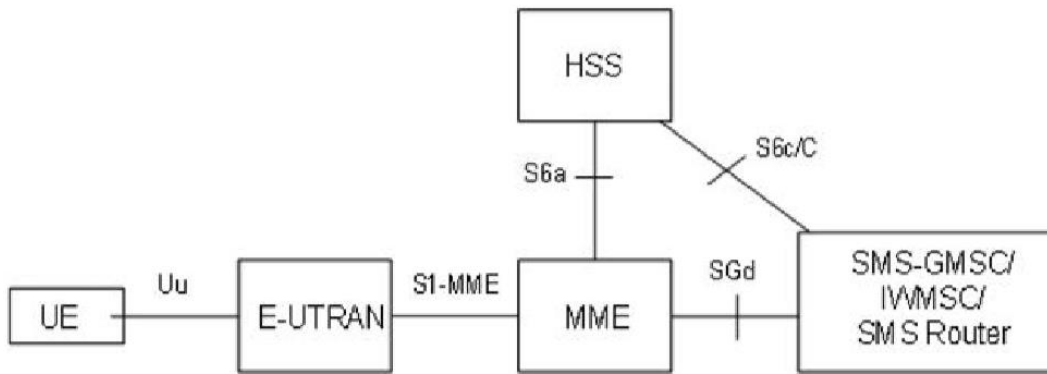
Beberapa fitur utama jaringan inti dari Rel-8 dan seterusnya dijelaskan secara singkat di bagian ini^[5-15].

- **SMS di MME**

SMS (Short Message Service) di MME diperkenalkan untuk mendukung jaringan yang tidak memiliki keluhan 3GPP MSC dan juga tidak mendukung MAP (Mobile Application Part).

Pilihan lain adalah memiliki SMS melalui IMS, namun, ini akan membutuhkan klien SIP di perangkat dan tidak semua perangkat (misalnya, perangkat jenis mesin dan dongle) memiliki kemampuan seperti itu. Selain itu, ini untuk penjelajah masuk yang jaringan rumahnya tidak mendukung IMS, tidak dapat ditawarkan SMS melalui IMS, dan dengan demikian akan memerlukan dukungan untuk SMS melalui NAS. Untuk mengatasi tantangan tersebut, 3GPP memperkenalkan arsitektur baru di TS 23.27^[16] untuk mendukung layanan SMS di EPC yang ditunjukkan pada Gambar 11.3. Fitur ini dapat diaktifkan atau dinonaktifkan di MME melalui konfigurasi ulang sederhana. Dari perspektif UE, tetap transparan apakah SMS dalam MME atau SMS melalui antarmuka SG (antara MME dan MSC) ditawarkan oleh jaringan. HSS dapat mendukung protokol Diameter S6c dan antarmuka MAP C ke entitas SMS yang belum berevolusi ke S6c. Jika tidak, entitas SMS dapat mendukung kedua antarmuka untuk mendapatkan informasi perutean dari HSS yang belum berevolusi ke S6c.

⁶⁹ InteNRet Protocol Security (IPsec) adalah suite protokol untuk mengamankan komunikasi IP dengan mengotentikasi dan mengenkripsi setiap paket IP dari sesi komunikasi^[4]
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)



Gambar 11.3 SMS dalam arsitektur MME. (Dari 3GPP TS 23.272 (V11.4.0) 2013 Circuit Switched (CS) Fallback dalam Evolved Packet System (EPS); Tahap 2. Spesifikasi Teknis (Rilis 11), Layanan Grup Spesifikasi Teknis dan Aspek Sistem, 3GPP, Maret^[16].)

- **Kontrol QoS Berdasarkan Batas Pengeluaran Pelanggan**

Peningkatan arsitektur Policy Charging Control (PCC) yang disebut QoS-SSL (Quality of Service - Subscriber Spending Limit) telah ditentukan oleh 3GPP. QoS-SSL memungkinkan pemantauan penggunaan pelanggan sehubungan dengan batas pengeluaran dan memungkinkan tindakan yang akan diambil ketika batas tercapai. Batas pengeluaran tersebut mungkin oleh pengguna atau oleh aplikasi.

Fitur QoS-SSL memberi operator kemampuan untuk menolak akses pengguna ke layanan tertentu jika pengguna telah mencapai batas pengeluaran yang dialokasikan dalam jangka waktu tertentu. Lebih lanjut, fitur tersebut dapat mengubah QoS jika ambang (batas pengeluaran) tersebut telah tercapai, memberikan operator sarana tambahan untuk membentuk lalu lintas pengguna. Otoritas tersebut memungkinkan operator untuk menolak monopoli sumber daya jaringan pada satu waktu oleh pengguna. Pengguna juga memiliki kesempatan untuk membeli kredit tambahan untuk meningkatkan batas pengeluaran mereka^[9-10,12,17].

- **Konvergensi Data Pengguna**

Konvergensi Data Pengguna (UDC) seperti yang dijelaskan dalam 3GPP TS 22.101^[18] mendukung arsitektur berlapis yang memisahkan data dari logika aplikasi. Data pengguna disimpan dalam repositori unik secara logis yang memungkinkan akses dari entitas inti dan lapisan layanan, yang disebut front-end aplikasi. Selain itu, elemen dan fungsi jaringan harus memiliki fleksibilitas untuk mengakses data profil dari jarak jauh dan tanpa harus menyimpannya secara lokal secara permanen.

- **Restorasi Node yang Ditingkatkan untuk EPC**

Berbagai komponen EPC dirancang untuk sangat andal, tetapi restart atau kegagalan sesekali karena berbagai alasan tidak dapat dihindari. Laporan teknis 3GPP TR 23.857^[19] menentukan kesalahan operasional serius tertentu jika MME, S4-SGSN⁷⁰, SGW atau PGW gagal bersama dengan mekanisme pemulihan. Misalnya, pengguna mungkin tidak dapat menerima panggilan

⁷⁰ S4: Ini menyediakan kontrol terkait dan dukungan mobilitas antara inti GPRS dan fungsi jangkar 3GPP dari S-GW dan didasarkan pada titik referensi Gn seperti yang didefinisikan antara SGSN dan GGSN.

pemutusan IMS apa pun setelah kegagalan MME, dan dengan demikian peningkatan tertentu diperlukan untuk memberikan ketahanan layanan.

Pengerjaan item ini dimulai di Rel-10, tetapi rilis ini terutama menetapkan prosedur pemulihan untuk kegagalan MME/S4-SGSN. Prosedur pemulihan node EPC tertentu yang disempurnakan ditentukan dalam Rel-10 dan Rel-11 untuk memulihkan layanan CS dan PS setelah terjadinya berbagai kegagalan di EPC. Rel-12 menetapkan prosedur pemulihan yang disempurnakan yang mendefinisikan perilaku EPS dan memungkinkan pemulihan layanan eMBMS bila memungkinkan untuk meminimalkan dampak pada layanan pengguna akhir.

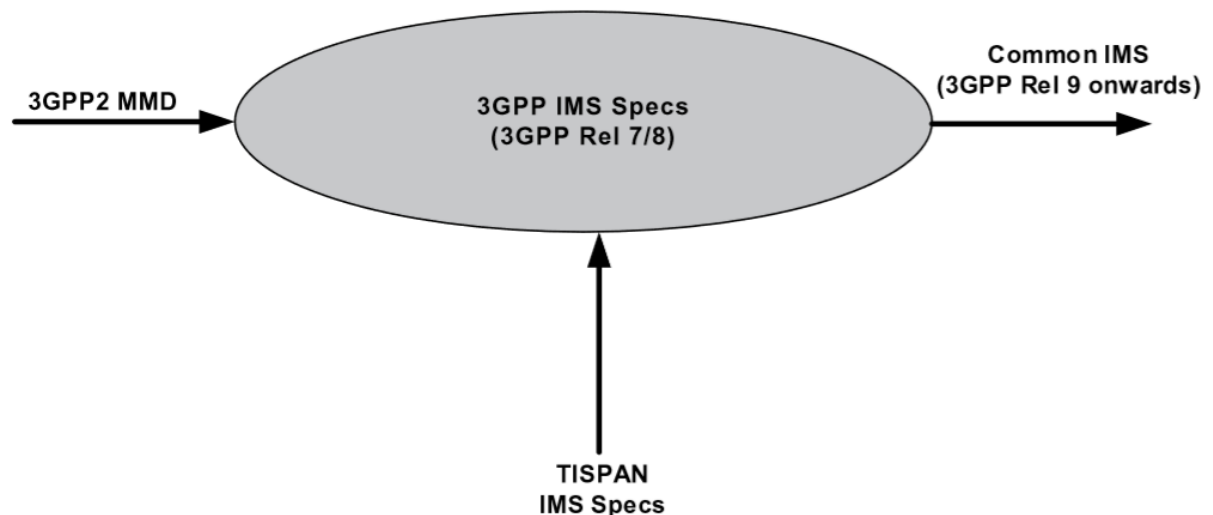
- **Intersepsi yang Sah di 3GPP Rel-13**

Studi sedang berlangsung tentang cara memperluas layanan 3GPP Legal Interception (LI) untuk mengakomodasi peningkatan dan perluasan layanan Rel13. Layanan tersebut akan diperluas lebih lanjut sesuai kebutuhan untuk memenuhi persyaratan LI nasional. Persyaratan LI nasional akan berlaku untuk sebagian dari peningkatan Rel-13 tersebut termasuk namun tidak terbatas pada peningkatan EPS, IMS VoIP (voice over IP), panggilan yang dihentikan seluler, layanan kedekatan, dan sebagainya.

Peningkatan spesifikasi TS 33.106, TS 33.107 dan TS 33.108 akan membahas persyaratan layanan LI, arsitektur LI, fungsi LI, dan antarmuka HI2 (Intercepted Related Information) dan HI3 (Content) untuk pengiriman ke fasilitas pemantauan penegakan hukum [20] .

11.3 Evolusi IMS

IMS dirancang untuk menjadi kerangka arsitektur untuk mengaktifkan berbagai layanan multimedia dan pensinyalan yang diperlukan. Ini adalah sistem akses agnostik, diperkenalkan di 3GPP Release-5.



GAMBAR 11.4 Konsep umum IMS. (Dari Asif, S. 2011 Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Manajemen Teknologi untuk Komunikasi Seluler. Wiley Inc., Inggris [1].)

IMS awalnya dirancang oleh 3GPP sebagai bagian dari visi untuk mengembangkan jaringan seluler di luar GSM. Formulasi aslinya (3GPP Rel-5) mewakili pendekatan untuk memberikan "layanan Internet" melalui GPRS. Visi ini kemudian dimasukkan oleh 3GPP2 dan TISPAN untuk mencakup jaringan selain GPRS, seperti Wireless LAN, CDMA2000, dan fixed line.

Disepakati pada tahun 2007 bahwa 3GPP akan mengambil tanggung jawab keseluruhan spesifikasi IMS untuk menghindari fragmentasi lebih lanjut dari spesifikasi IMS. Pemahaman IMS yang umum diharapkan untuk mengatasi interoperabilitas antara standar IMS yang berbeda dan jaringan yang mendukung IMS di masa depan. IMS umum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.4, diharapkan membawa skala ekonomi dan pengurangan biaya modal dan operasional. Spesifikasi ETSI TISPAN IMS dipindahkan ke 3GPP pada tahun 2007 sementara spesifikasi persyaratan 3GPP2 MMD digabungkan dengan Release-8. 3GPP mempertahankan satu set umum spesifikasi IMS mulai dari Rel-9. Spesifikasi Rel-9 secara keseluruhan dibekukan pada Desember 2009^[1].

Subbagian berikut terutama akan melihat evolusi IMS seperti yang didefinisikan dari Rel-9 dan hanya akan mencantumkan fitur utama [5–15,20]. Detail IMS dari perspektif 3GPP, 3GPP2, dan WiMAX termasuk arsitektur dapat ditemukan di ^[1].

11.4 Kontinuitas Pelayaran IMS dan Pelayanan Terpusat

Kedua fungsi ini memungkinkan IMS untuk mengontrol pengiriman layanan serta memungkinkan layanan untuk berkembang melalui HetNets. Ada banyak kesamaan antara dua area ini (misalnya, keduanya disediakan oleh server aplikasi yang sama dan merupakan fungsionalitas yang dapat dipanggil sebagai bagian dari layanan yang sama) yang mempercepat pengirimannya ke pasar. Meskipun pengukuran manajemen kinerja untuk fungsi-fungsi ini didefinisikan dalam Rel-11, pekerjaan telah berlangsung sejak Rel-8.

- **Kontinuitas Layanan IMS**

3GPP telah mengembangkan aspek kontinuitas layanan IMS dalam beberapa rilisnya untuk mendukung pengalaman kontinuitas sesi multimedia. Rel-7 mengembangkan definisi Kontinuitas Panggilan Suara (VCC) dan Rel-8 dibangun di atasnya untuk mendefinisikan Kontinuitas Layanan (SC) dan VCC untuk SRVCC. Rilis Rel-9 dan seterusnya telah menambahkan peningkatan lebih lanjut ke fungsi ini

Di Rel-8, SC memungkinkan seluruh sesi pengguna dilanjutkan dengan mulus saat perangkat pengguna berpindah dari satu jaringan akses ke jaringan akses lainnya. Di Rel-9, fungsi ini telah ditingkatkan untuk memungkinkan komponen sesi pengguna ditransfer ke, dan diambil dari, perangkat berbeda milik pengguna. Misalnya, panggilan video atau streaming video yang sedang berlangsung di perangkat seluler dapat ditransfer ke laptop atau bahkan TV layar besar (dengan asumsi keduanya mendukung IMS), untuk meningkatkan pengalaman pengguna dan kemudian, jika perlu, diambil ke perangkat seluler. Selain mentransfer media yang ada, pengguna dapat menambah atau menghapus media yang terkait dengan sesi di beberapa perangkat, semuanya dikontrol dari satu perangkat. Perangkat ini mungkin berada di jaringan akses 3GPP atau non-3GPP yang berbeda.

Rel-11 memberi operator kemampuan untuk menetapkan MSISDN tambahan, selain MSISDN asli, ke pelanggan dengan langganan packet-sw ITC hed. Jika MSISDN tambahan tersedia, dapat digunakan untuk korelasi circuit sw ITC hed dan IMS dalam panggilan suara dan kontinuitas layanan serta Layanan Terpusat IMS.

- **Layanan Terpusat IMS**

Fitur layanan terpusat IMS dikembangkan di Rel-8 dan menyediakan layanan suara dan kontrol layanan melalui mekanisme dan pengaktif IMS, sambil menyediakan pembawa media suara

melalui akses CS. Pengguna, oleh karena itu, berlangganan layanan IMS dan dapat menerima layanan tersebut terlepas dari apakah media suara dibawa melalui akses PS atau akses CS. Dalam keterbatasan kemampuan akses CS, pengguna memiliki pengalaman yang sama dengan layanan.

Layanan dikendalikan melalui saluran yang disediakan baik oleh IMS (melalui akses PS, jika didukung secara bersamaan dengan akses CS) atau melalui interworking pensinyalan CS lama ke IMS oleh server MSC. Kemampuan terakhir memungkinkan dukungan perangkat pengguna lama, tetapi tidak dapat menyediakan layanan suara baru yang lebih kaya kepada pengguna.

Rel-9 telah meningkatkan fungsionalitas ini untuk menambahkan dukungan media video. Juga ditambahkan adalah saluran kontrol layanan opsional dari perangkat pengguna ke IMS yang transparan ke server MSC. Ini menghindari kebutuhan untuk memperbarui jaringan CS lama dan memungkinkan layanan baru untuk dikembangkan tetapi tidak dapat mendukung perangkat pengguna lama.

Fitur baru di Rel-11 memberi operator kemampuan untuk menetapkan Nomor Jaringan Digital Layanan Terpadu Pelanggan Seluler (MSISDN) tambahan, selain MSISDN asli, ke pelanggan dengan langganan PS. Ketika MSISDN tambahan tersedia, digunakan untuk korelasi CS dan IMS dalam panggilan suara dan kontinuitas layanan serta layanan terpusat IMS. Hal ini meningkatkan kemampuan untuk memberikan implementasi yang sederhana dan fleksibel untuk melakukan layanan tipe IN (Intelligent Network) di lingkungan PS. Hasil implementasi kemungkinan untuk secara kondisional memasukkan bidang MSISDN tambahan dalam prosedur pembaruan lokasi dari HSS ke MME/SGSN^[10].

11.5 eMPS untuk IMS

Layanan Prioritas Multimedia atau MPS memungkinkan pengguna keamanan dan kesiapsiagaan darurat tertentu untuk melakukan panggilan prioritas dan/atau membuat sesi menggunakan jaringan publik selama kondisi kemacetan jaringan. Pengguna tersebut kemungkinan adalah personel resmi pemerintah, pejabat manajemen darurat, dan/atau pengguna resmi lainnya. MPS berbasis Rel-9 hanya mengizinkan originasi/penghentian panggilan suara berbasis IMS antara pengguna tersebut dengan prioritas. Untuk memperluas proses ke pengguna circuit-sw ITC hed, Rel-10 menetapkan mekanisme untuk penanganan prioritas layanan multimedia berbasis IMS (suara, video, dll.), data PS, dan suara CS (untuk CS-fallback) sehubungan dengan LTE/ EPC yang disebut eMPS. Rel-11 menyediakan mekanisme untuk menangani SRVCC untuk panggilan prioritas berbasis IMS yang ditetapkan di LTE agar jaringan berhasil menyerahkan panggilan dari LTE ke CS di GERAN/UTRAN atau 1xCS^[9].

Mekanisme untuk menangani SRVCC untuk sesi suara atau suara plus video berbasis IMS yang ditetapkan di LTE adalah dengan menggunakan kembali mekanisme penanganan prioritas yang telah ditetapkan untuk UMTS dan GSM/EDGE di TS 25.413 [21] dan TS 48.008 [22], masing-masing. Secara sederhana, ketika pengguna memiliki panggilan suara IMS yang sedang berlangsung dan panggilan diprioritaskan menggunakan eMPS, dan ketika panggilan dialihkan dari LTE ke circuit sw ITC hed GERAN/UTRAN atau 1xCS menggunakan prosedur SRVCC, prosedur dapat diprioritaskan tergantung pada persyaratan peraturan/kebijakan operator bahkan di bawah situasi kemacetan jaringan.

11.6 IIMS, IETF - Penyelarasan Protokol

Pekerjaan yang sedang berlangsung sejak Rel-9 adalah tentang menjaga keselarasan pengembangan SIP yang digunakan dalam IMS dengan yang didefinisikan dalam IETF. Lingkup pekerjaan ini adalah penyelarasan protokol, dan kemampuan yang dapat mengarah ke aplikasi IMS baru atau yang ditingkatkan yang bukan merupakan bagian dari proses ini.

11.7 Akses UICC untuk Spesifikasi IMS

Item kerja diperkenalkan di Rel-10 untuk menentukan mekanisme yang diperlukan di UICC (Universal Integrated Circuit Card) dan UE untuk menggunakan fungsionalitas IMS yang diterapkan di UE. Ini akan mempertimbangkan ada dan tidaknya ISIM (Modul Identitas Layanan Multimedia IP) di UICC.

IMS memungkinkan operator untuk mengembangkan aplikasi bernilai tambah baru serta meningkatkan solusi yang ada. Aplikasi berbasis IMS ini dapat ditempatkan di UE sedangkan aplikasi berbasis IMS tambahan dapat berada dan dijalankan di UICC. Hal ini akan membuka peluang baru dan memungkinkan, misalnya, pengembangan aplikasi berbasis IMS khusus operator yang memerlukan tingkat keamanan dan portabilitas yang tinggi.

11.8 Panggilan Darurat IMS

Dukungan untuk panggilan darurat IMS melalui GPRS dan HSPA diperkenalkan di Rel-7 termasuk dukungan untuk panggilan balik PSAP (Public Safety Answering Point) dan untuk menangani layanan tambahan yang sesuai.

Ada juga kebutuhan untuk mendukung sesi darurat IMS melalui LTE, dan teknologi packet-sw ITC hed nirkabel lainnya (misalnya, WLAN dan CDMA2000). Selain itu, dukungan untuk sesi darurat IMS dengan media lain di UTRAN dan E-UTRAN juga diperlukan.

Peningkatan ini telah ditambahkan untuk mendukung sesi darurat IMS yang memungkinkan UE menggunakan media dan jenis komunikasi lain (video waktu nyata, transfer file, dll.) selain suara selama sesi darurat IMS. Ini terjadi bila jaringan mendukung panggilan darurat suara IMS dan UE juga mendukung media atau jenis komunikasi lainnya.

Ketika UE dengan sesi darurat IMS aktif keluar dari jangkauan suara IMS, kontinuitas panggilan suara didukung oleh UE dan jaringan dan kemudian menjadi panggilan darurat CS. Media lain akan dihapus saat UE dengan sesi darurat IMS aktif keluar dari jangkauan suara IMS, terlepas dari apakah ada sesi suara aktif atau tidak. Penyebaran panggilan darurat IMS tergantung pada persyaratan peraturan setempat.

11.9 Jaringan 5G Core

Jaringan inti secara tradisional telah dirancang sebagai arsitektur tunggal yang menangani berbagai persyaratan dan mendukung kompatibilitas ke belakang. Pendekatan satu ukuran cocok untuk semua ini telah berhasil menjaga biaya tetap rendah ke tingkat yang wajar dan dengan mendukung fungsi circuit sw ITC hed yang lama dan fungsionalitas packet-sw ITC hed saat ini.

Jaringan inti ini, bagaimanapun, kaku dalam arti tidak cukup fleksibel untuk mengakomodasi kebutuhan konektivitas yang disesuaikan dan bervariasi dari pengguna individu dan bisnis yang diharapkan di masa depan. Namun, dengan virtualisasi, NFV, SDN, dan network slicing, dimungkinkan untuk membuat jaringan inti lebih fleksibel dan terukur. Dengan demikian, jaringan inti generasi berikutnya diharapkan ada di lingkungan berbasis cloud dengan

virtualisasi tingkat tinggi dan jaringan berbasis perangkat lunak. Fleksibilitas tersebut diperlukan untuk mendukung berbagai jaringan akses seperti 3G, LTE, 4G, WiFi, dan 5G masa depan.

11.10 Komponen jaringan Core/Rancangan Level Tinggi

EPC saat ini akan berkembang lebih lanjut untuk mendukung virtualisasi dan network slicing menjadi NGC yang berlaku untuk jaringan 5G.

Pengirisan jaringan sering disebut sebagai instantiasi logis dari jaringan mungkin karena teknologi virtualisasi^[23]. Konsep ini dipandang sebagai perluasan/evolusi alami dari metodologi berbagi jaringan saat ini ^[24]. Pengirisan jaringan adalah salah satu teknik yang menjanjikan yang kemungkinan akan ada di akses radio dan jaringan inti. Ini memungkinkan beberapa jaringan logis dibuat di atas infrastruktur fisik umum. Baik DCN (Dedicated Core Network) atau kombinasi NFV dan SDN dapat digunakan sebagai teknologi untuk mengaktifkan network slicing bersama dengan orkestrasi dan analitik ^[25,26]. DCN atau Décor sebagaimana didefinisikan dalam 3GPP TS 23.401 ^[27] adalah fitur yang memungkinkan operator untuk menyebarkan beberapa jaringan inti seluler logis yang terhubung ke RAT yang sama atau beberapa RAT (misalnya GERAN, UTRAN, E-UTRAN, WB-E-UTRAN dan NB-IoT). DCN terdiri dari satu atau lebih MME/SGSN dan mungkin terdiri dari satu atau lebih SGW/PGW/PCRF. Fitur ini memungkinkan pelanggan untuk dialokasikan dan dilayani oleh DCN berdasarkan informasi langganan (misalnya, “Jenis Penggunaan UE”).

Dengan 5G, satu terminal dapat menggunakan beberapa layanan dengan karakteristik yang berbeda hampir secara bersamaan. Dalam kasus seperti itu, irisan jaringan dapat dibuat untuk setiap layanan, yang membutuhkan semua irisan tersebut untuk mengoordinasikan kontrol untuk terminal tunggal tertentu. Irisan ini dapat dipetakan ke radio masing-masing dan irisan jaringan inti untuk menyediakan konektivitas ujung ke ujung. Metodologi saat ini sedang ditentukan untuk memilih kekhasan jaringan radio/inti untuk mendukung pemotongan dalam sistem 5G yang ada maupun yang akan datang.

Pemisahan Bidang Kontrol dan Pengguna: Pemisahan bidang kendali dan bidang pengguna adalah salah satu prinsip utama arsitektur jaringan inti 5G. 3GPP memulai studi di TR 23.714 [28] tentang pemisahan pesawat pengguna/kontrol yang melibatkan elemen jaringan inti seperti P-GW, Traffic Detection Function (TDF), dan sebagainya. Pemisahan ini memungkinkan penskalaan independen setiap bidang dan migrasi menuju arsitektur berbasis cloud. Misalnya, bidang kontrol dapat ditempatkan di lokasi terpusat dengan perangkat keras dan kemampuan pemrosesan yang kompleks. Di sisi lain, bidang pengguna dapat didistribusikan ke lebih banyak situs lokal sehingga jangkauan dari sudut pandang pengguna menjadi lebih mudah. Contoh yang baik dari hal ini adalah cache konten di situs lokal alih-alih mengamankannya dari server utama yang berada ribuan mil jauhnya. Pemisahan ini adalah konsep dasar SDN dan memiliki SDN akan membuat jaringan inti lebih fleksibel.

Rincian lebih lanjut tentang network slicing, NFV, dan SDN dapat ditemukan di Bab 5 Konsep 5G.

11.11 Jaringan Pengiriman Konten

CDN telah dikembangkan dan berevolusi untuk memenuhi kebutuhan pengiriman konten yang efisien melalui Internet. CDN menggunakan jaringan server cache yang didistribusikan secara luas (server pengganti) untuk menyebarkan konten lebih dekat ke tepi jaringan

telekomunikasi yang seharusnya terkonsentrasi di beberapa lokasi terpusat. CDN memungkinkan pengiriman konten replika dari beberapa situs yang sangat terdistribusi dan mengurangi masalah kemacetan, latensi, dan kegagalan. Namun, karena Internet, yang merupakan penggabungan dari jaringan otonom heterogon yang terkoordinasi secara longgar, sebagian besar bekerja dengan upaya terbaik, sejumlah hambatan berada di luar kendali entitas tertentu termasuk CDN [29-31].

11.12 Platform CDN

CDN dasar terdiri dari beberapa server pengganti, sistem transportasi (pengiriman), sistem data dan analisis, sistem perutean konten, dan pusat operasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.5. CDN dapat menggunakan model yang berbeda untuk komunikasi, di mana setiap model mencantumkan tantangannya sendiri dalam konteks platform Internet yang sangat terdistribusi. Untuk semua model seperti itu, penyedia CDN menghadapi tantangan utama skala (berkomunikasi dengan 1000 mesin) dan keandalan (menyediakan konektivitas terbaik ke seluruh Internet). Gambaran singkat komponen CDN adalah sebagai berikut:

Server pengganti adalah server pengiriman yang merupakan server asli yang bertanggung jawab untuk meneruskan salinan konten asli ke pengguna yang bersangkutan. Ini membuat pengiriman konten lebih cepat dan lebih efektif. Server tersebut biasanya digunakan di seluruh CDN secara hierarkis [32].

Sistem transportasi adalah kumpulan elemen jaringan yang disebut distributor konten yang mendukung pengiriman konten penerbit dari server asli ke satu atau lebih server pengganti. Server ini juga dapat mengirimkan sinyal konten yang berisi informasi seperti validasi, integritas, dan kedaluwarsa konten. CDN menggunakan sinyal konten ini untuk menjaga integritas dan konsistensi konten di server penggantinya. Ini dapat berinteraksi dengan sistem perutean permintaan untuk menginformasikan tentang ketersediaan konten di server pengganti yang berbeda dan dengan sistem akuntansi untuk menginformasikan aktivitas distribusi konten sehingga nantinya dapat mengukur volume distribusi konten [30].

Sistem perutean konten mengarahkan pengguna ke server pengganti yang sesuai yang dapat melayani konten yang diperlukan. Dapat dikatakan bahwa CRS adalah yang pertama ditemui pengguna ketika dia mengajukan permintaan konten. Pemilihan server pengganti dibuat berdasarkan parameter tertentu seperti ketersediaan layanannya, kedekatan geografis dengan pengguna, dan kapasitas. Perutean dapat dilakukan dengan berbagai cara termasuk mekanisme berbasis DNS (Domain Name System) yang populer atau yang kurang populer seperti lapisan transport atau berbasis lapisan aplikasi.

Sistem pengumpulan dan analisis data mencakup server logging dan server analitik. Log digunakan untuk menghasilkan laporan historis dan tagihan pelanggan sedangkan server analitik memungkinkan pemantauan hampir waktu nyata dan menghasilkan laporan tentang pemanfaatan layanan dan ketersediaan layanan.

Pusat operasi CDN seperti unit manajemen operasional lainnya bertanggung jawab atas pengelolaan dan penyediaan jaringan dan layanan. Ini bertanggung jawab untuk penyediaan layanan seperti streaming langsung, streaming berdasarkan permintaan, dan sebagainya, dan mengonfigurasi perangkat seperti router, sakelar, dan server pengganti.

Komponen tambahan seperti sistem pemetaan menggunakan data historis dan real-time untuk menanyakan tentang kesehatan CDN dan Internet pada umumnya. Pemantauan ini

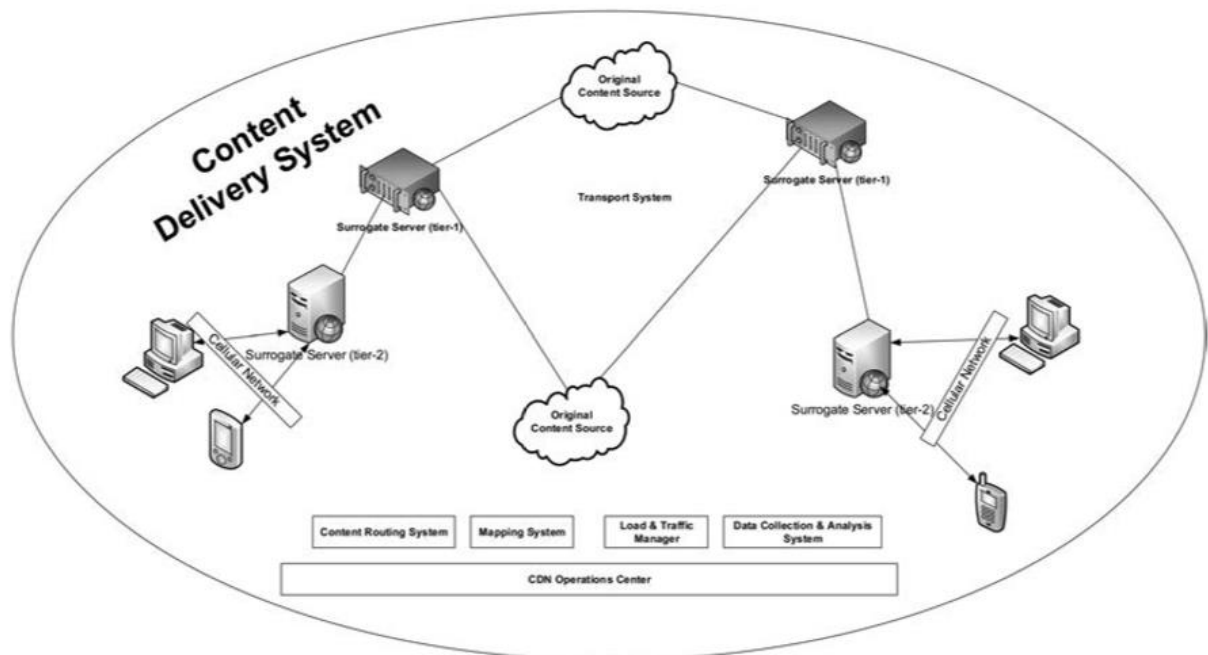
membantu dalam pembuatan peta untuk mengarahkan lalu lintas secara efektif. Komponen lain, yaitu pengelola beban dan lalu lintas, digunakan untuk penyeimbangan beban dan toleransi kesalahan. Ini memantau kinerja Internet dan mengumpulkan info lalu lintas dan memasukkan data ini ke sistem pemetaan [23]

11.13 Model Pengiriman CDN

Laporan riset pasar menunjukkan bahwa operator menghadapi peningkatan besar dalam lalu lintas IP dan khususnya untuk video-on-demand. Vendor Peralatan dan Infrastruktur Jaringan seperti Cisco, Ericsson, dan Alcatel-Lucent memiliki perkiraan pertumbuhan trafik video yang bervariasi; namun, bahkan prediksi terendah dari Alcatel-Lucent menunjukkan kenaikan 12 kali lipat pada tahun 2020. Laporan Alcatel-Lucent memperkirakan bahwa jam menonton akan meningkat dari 4,8 menjadi 7,0 jam per hari didorong oleh video OTT (over the top), yang akan meningkat dari 11% lalu lintas menjadi 48% [31].

Mekanisme pengiriman CDN berguna dalam mengatasi pertumbuhan lalu lintas video. Tiga kategori utama mekanisme pengiriman CDN, masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya adalah peer-to-peer, cache based, dan Enterprise CDN [33].

Dengan mode peer-to-peer, konten dikirimkan ke pengguna dari server pusat. Namun, setelah pengirimannya, perangkat pengguna itu sendiri menjadi point-of-presence (POPs) dan dapat mengirim ke pengguna lain. Platform ini ekonomis, tetapi menimbulkan masalah keamanan, pembaruan konten, dan hak cipta.



Gambar 11.5 Diagram blok CDN

CDN pribadi seperti CDN Perusahaan beroperasi dalam perusahaan dan mengirimkan data yang sama pada waktu yang sama ke banyak pengguna (yaitu, beroperasi dengan cara multi-cast). Mode ini ekonomis dalam hal sumber daya bandwidth dan penyampaian, pelatihan, dan komunikasi korporat ke audiens internal. Pada saat yang sama, ia memiliki kekurangan dalam hal pengiriman lalu lintas video-on-demand/unicast.

Pendekatan berbasis cache yang paling umum adalah untuk mengirimkan konten dalam mode unicast dan multicast.

Lebih lanjut, permintaan lalu lintas VoD/unicast yang baru mewakili bagian yang jauh lebih besar dari keseluruhan lalu lintas di tepi layanan IP daripada lalu lintas di tautan pelanggan. Tidak seperti teknik pengiriman multicast yang memanfaatkan aliran server video tunggal untuk menjangkau ratusan pengguna, pengiriman unicast memerlukan aliran terpisah untuk setiap pengguna, bahkan ketika pengguna mengonsumsi konten yang sama. Hal ini menyebabkan kemacetan untuk jaringan yang menggunakan tepi IP terpusat, berdasarkan gateway broadband lama atau router server akses regional broadband. Ini juga meningkatkan biaya transportasi dan peering.

Dua pendekatan untuk mengatasi VoD/unicast dan, secara umum, untuk pengiriman konten dengan permintaan tinggi adalah dengan menggunakan penyiapan CDN buatan operator atau mengalihdayakan pengiriman konten ke spesialis CDN.

11.14 CDN pada Jaringan Seluler

Pendekatan ini memberi operator lebih banyak kontrol atas bagaimana permintaan konten dirutekan di seluruh jaringan mereka dan memperhitungkan topologi dan efisiensi mereka sendiri. Dalam pendekatan ini, infrastruktur distribusi ditempatkan ke dalam jaringan operator, yang dapat berupa CDN aktif (dampak pendapatan) atau pasif (tidak berdampak pendapatan).

CDN aktif akan memungkinkan operator memperoleh pendapatan dari penyedia layanan konten dengan menempatkan infrastruktur yang diperlukan di jaringan mereka. CDN aktif berarti bahwa elemen jaringan CDN yang diperlukan dapat ditempatkan di RAN operator seluler seluler atau di inti paket seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.6. CDN aktif dapat meningkatkan QoS pengguna akhir dan mengurangi biaya investasi jaringan seluler, serta menciptakan aliran pendapatan aktif baru khususnya yang digabungkan dengan QoS jaringan seluler (pengontrol kebijakan). CDN pasif lebih mirip caching transparan di mana elemen jaringan CDN mendapatkan lalu lintas dari sumber eksternal yang berakhir di GGSN. Jenis caching ini membantu mengurangi transit IP dan biaya peering.

Namun, sebuah konsensus sedang dibangun di industri bahwa layanan CDN terkelola lebih praktis untuk operator. Operator dapat bermitra dengan spesialis CDN karena tiga alasan utama, yaitu offload lalu lintas, kinerja jaringan, dan pendapatan. Alasan lain yang mendukung pendekatan ini adalah krisis kapasitas yang menggeser desain jaringan telekomunikasi dari topologi multicast terpusat ke tepi IP terdesentralisasi ditambah desain cache. Pendekatan ini akan membantu operator untuk memonetisasi konten bernilai tinggi melalui perjanjian dengan CSP untuk menawarkan peningkatan QoE (Quality of Experience) melalui pemanfaatan QoS jaringan seluler.

11.15 Kasus Penggunaan CDN

CDN meningkatkan kinerja jaringan dengan memindahkan konten lebih dekat ke pengguna akhir. Beberapa kasus di mana CDN dapat membuat perbedaan adalah sebagai berikut [34]:

- Sebagai Mesin Pengoptimalan Aplikasi, CDN dapat mengoptimalkan jumlah data yang dikirim sekaligus meningkatkan pemanfaatan bandwidth pengguna yang tersedia. Selain itu, karena CDN menghubungkan pengguna ke server terdekat secara geografis, efek bersihnya adalah pengurangan latensi yang diperkenalkan oleh jaringan. Mesin

tersebut menangani pengoptimalan di berbagai tingkat jaringan untuk mempercepat pengiriman konten ke semua jenis pengguna.

- Sebagai replikator file, khususnya ketika file data berukuran besar diperlukan di banyak wilayah, CDN dapat mereplikasi data dari kantor pusat perusahaan di satu wilayah ke satu atau lebih kantor pusat regional secara tepat waktu.
- Sebagai sumber bandwidth utama, CDN dapat digunakan untuk mengurangi efek volume tinggi, bursty, dan pertumbuhan lalu lintas yang tidak jelas, dan menjaga kinerja aplikasi pada tingkat yang dapat diterima.

11.16 Sistem Dukungan Operasi

OSS/BSS menyediakan fungsi OAM&P untuk semua elemen berbeda dari jaringan seluler. Standar OSS/BSS saat ini telah dirancang untuk menangani banyak antarmuka, jaringan tetap dan seluler, lingkungan vendor campuran, dan sampai batas tertentu perubahan teknologi yang cepat^[1].

Sampai pertengahan 1990-an, telekomunikasi seluler hanya dijalankan pada langganan pascabayar dengan sedikit layanan yang membuat pekerjaan lebih mudah untuk sistem OSS/BSS. Kemudian dari pertengahan 1990-an hingga awal 2000-an, terjadi lonjakan langganan prabayar di seluruh dunia. Ini adalah perubahan besar yang membutuhkan pemikiran baru di bidang OSS/BSS karena ini memerlukan penerapan proses waktu nyata dan online [35].

Dimulainya data dengan GPRS dan 3G pada awal tahun 2000-an merupakan perkembangan terobosan untuk telekomunikasi seluler. Hal ini menyebabkan pergeseran berikutnya untuk OSS/BSS karena layanan termasuk data selain suara dan SMS. Selanjutnya, menjelang akhir dekade terakhir, komunikasi tidak hanya ditujukan untuk orang, tetapi juga untuk perangkat dan tren ini berlanjut hingga saat ini^[35].

Framework adalah jawaban TM Forum⁷¹ untuk penyedia layanan, pemasok, dan industri secara umum untuk tantangan OSS/BSS yang disebutkan di atas. Detail tentang Framework dan komponennya dapat ditemukan di^[1,36].

11.17 OSS/BSS untuk LTE

E-UTRAN/EPC, secara kolektif disebut EPS, menggunakan model referensi manajemen yang ada yang menguraikan sistem operasi yang berinteraksi dengan sistem lain dalam organisasi PLMN (Public Land Mobile Network) tunggal atau organisasi berbeda yang ditentukan dalam TS 32.101^[37]. TR 32.816^[38] di sisi lain adalah laporan pengelolaan E-UTRAN dan EPC. Model referensi manajemen EPS merupakan kombinasi dari model referensi manajemen yang ada dan model referensi manajemen spesifik use case. Kasus penggunaan, misalnya, dapat berupa "pembentukan eNodeB baru di jaringan", "optimasi cakupan dan kapasitas", dan seterusnya^[1].

Gambar 11.7 menunjukkan arsitektur 3GPP dan EPS yang menunjukkan antarmuka manajemen dan area manajemen. Antarmuka berikut disorot pada Gambar 11.7:

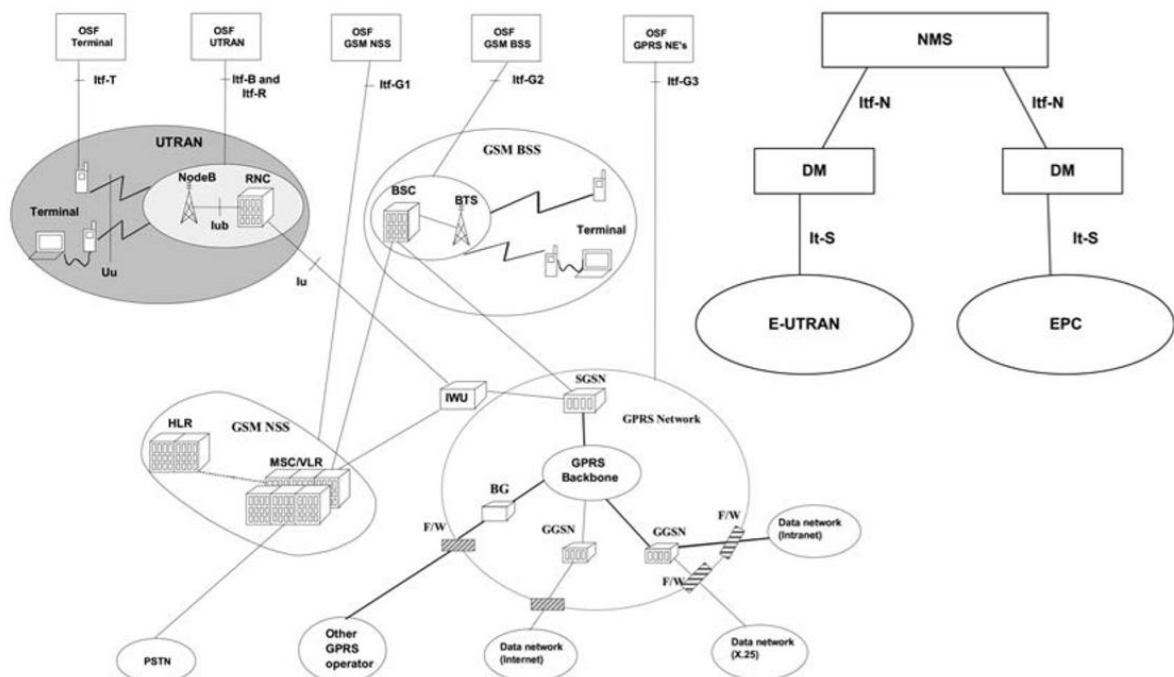
- Itf-T antara terminal dan manajer NE (Elemen Jaringan).

⁷¹ TM Forum adalah asosiasi industri global nirlaba utama yang menyediakan kebutuhan OSS/BSS. *Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)*

- Itf-B dan Itf-R antara UTRAN dan seorang manajer NE.
- Itf-G1 antara GSM NSS dan manajer NE.
- Itf-G2 antara GSM BSS dan manajer NE.
- Itf-S antara E-UTRAN, EPC, dan pengelola domain.
- Itf-G3 antara GPRS NE dan manajer NE.
- Itf-N antara E-UTRAN, EPC Domain Manager (DM), dan NMS.

11.18 OSS/BSS untuk 5G

Dalam dekade berikutnya, 5G akan ada dengan jaringan data 2G, 3G, dan 4G lama bersama dengan berbagai komunikasi IoT. Infrastruktur multi vendor, multi teknologi akan ditambah dengan infrastruktur jaringan berbasis SDN/NFV. Hal ini dapat mengakibatkan pergeseran lain dalam kerja sistem OSS/BSS^[40]. Spesifikasi ETSI NFV MANO^[41] adalah langkah pertama untuk mendukung perubahan yang diharapkan ini. Sebagaimana dinyatakan dalam spesifikasi ini, NFV-MANO saja tidak dapat memberikan semua manfaat bisnis NFV; ia perlu berintegrasi dan bekerja sama dengan entitas manajemen lain untuk tujuan ini seperti OSS, BSS, dan sebagainya, menggunakan antarmuka yang ditawarkan oleh entitas tersebut dan menawarkan antarmukanya sendiri untuk digunakan oleh entitas eksternal. Namun, hanya memperluas model OSS/BSS yang ada untuk memperhitungkan virtualisasi tidak akan cukup karena tidak akan memberikan layanan nilai tambah yang disediakan oleh NFV. Dengan demikian, evolusi NFV-MANO dan OSS/BSS perlu dikoordinasikan untuk mengatasi perkembangan yang pesat^[41].



Gambar 11.7 Arsitektur manajemen 3GPP dan EPS. (Dari Asif, S. 2011 Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK; 3GPP TS 32.102 V13.0.0 2016 Manajemen Telekomunikasi; Arsitektur. Spesifikasi Teknis (Rilis 13), Grup Spesifikasi Teknis Layanan dan Sistem Aspek, 3GPP, 3GPP, Desember [1,39].)

11.19 Kesimpulan

Bab ini memberikan informasi tentang jaringan inti yang umum, yaitu EPC. EPC, yang didefinisikan dalam 3GPP Rel-8, pertama kali diartikulasikan untuk mendukung teknologi akses LTE dan kemudian LTE-Advanced (4G). Arsitektur EPC secara keseluruhan tidak berubah sejak Rel-8 dan tidak ada perubahan signifikan yang dibuat hingga Rel-14 yang dibekukan pada Juni 2017. Rel-15 dan Rel-16 saat ini diharapkan dapat menghilangkan arsitektur dan fitur inti 5G jaringan yang diharapkan akan dibekukan masing-masing pada tahun 2018 dan 2020.

Latar belakang tingkat tinggi juga disediakan di IMS termasuk evolusinya. Fitur utama tertentu dari jaringan inti dan IMS juga disajikan. Informasi mengenai LTE dan 5G OSS/BSS juga dihadirkan. CDN adalah topik lain yang dibahas dalam bab ini. Operator seluler kemungkinan bergerak ke arah CDN terkelola daripada teknologi CDN yang dikembangkan sendiri.

Dan, akhirnya, untuk 5G, mungkin memindahkan jaringan inti di Cloud bersama dengan SDN/NFV adalah jawabannya

11.20 Pertanyaan

1. Jenis layanan apa yang dapat ditangani oleh jaringan inti saat ini?
2. Apa fungsi ANDSF?
3. Mengapa SMS di MME diperkenalkan?
4. Jelaskan QoS-SSL?
5. Apa itu UDC?
6. Apa itu IMS dan IMS umum?
7. Tentukan kontinuitas layanan IMS?
8. Tentukan layanan terpusat IMS?
9. Definisikan MPS dan eMPS serta manfaatnya?
10. Bagaimana panggilan darurat didukung di IMS?
11. Apa karakteristik yang diharapkan dari jaringan inti 5G?
12. Tentukan jaringan pengiriman konten?
13. Jelaskan secara singkat komponen utama CDN?
14. Jelaskan model pengiriman CDN?
15. Diskusikan cara ke depan untuk menyediakan CDN di jaringan seluler?
16. Apa tujuan dasar memiliki sistem pendukung operasi/bisnis?
17. Definisikan Framework?
18. Apa pergeseran selanjutnya di bidang OSS/BSS?

11.21 Singkatan dan Referensi

- **Kepanjangan Singkatan**

3GPP

Third Generation Partnership Project

Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

eMBMS	Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services
EIR	Equipment Identity Register
EPC	Evolved Packet Core EPS Evolved Packet System
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
HLR	Home Location Register
HSPA	High Speed Packet Access
IETF	Internet Engineering Task Force
ISIM IP	Multimedia Services Identity Module
LTE	Long Term Evolution
MSISDN	Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network-Number
NB-IoT	Narrow-Band Internet of Things
NFV	Network Functions Virtualization
PCRF	Policy Control and Charging Rules Function
PCC	Policy Charging Control
PDN	Packet Data Network
QoS	Quality of Service
SDN	Software Defined Networking
SGW	Service Gateway
SGSN	Serving GPRS Support Node
SMSC	Short Message Service Center
SSL	Secure Socket Layer
UE	User Equipment
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
WB-E-UTRAN	Wideband E-UTRAN

- **Referensi**

1. Asif, S. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
2. ETSI Mobile Competence Centre 2011. Overview of 3GPP Release 8, V0.2.4.
3. ETSI Mobile Competence Centre 2014. Overview of 3GPP Release 8, V0.3.2.
4. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.
5. ETSI Mobile Competence Centre 2013. Overview of 3GPP Release 9, V0.2.9.

6. ETSI Mobile Competence Centre 2014. Overview of 3GPP Release 9, V0.3.3.
7. ETSI Mobile Competence Centre 2013. Overview of 3GPP Release 10, V0.1.8
8. ETSI Mobile Competence Centre 2014. Overview of 3GPP Release 10, V0.2.1.
9. ETSI Mobile Competence Centre 2013. Overview of 3GPP Release 11, V0.1.4.
10. ETSI Mobile Competence Centre 2014. Overview of 3GPP Release 11, V0.1.9.
11. ETSI Mobile Competence Centre 2013. Overview of 3GPP Release 12, V0.0.8.
12. ETSI Mobile Competence Centre 2014. Overview of 3GPP Release 12, V0.1.3.
13. ETSI Mobile Competence Centre 2013. Overview of 3GPP Release 13, V0.0.1.
14. ETSI Mobile Competence Centre 2014. Overview of 3GPP Release 13, V0.0.6.
15. Americas 2012. 4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and Beyond—HSPA+, SAE/ LTE and LTE-Advanced.
16. 3GPP TS 23.272 (V11.4.0) 2013. Circuit Sw ITC hed (CS) Fallback in Evolved Packet System (EPS); Stage 2. Technical Specification (Release 11), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
17. 3GPP TS 23.203 V12.0.0 2013. Policy and Charging Control Architecture. Technical Specification (Release 12), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
18. 3GPP TS 22.101 V12.4.0 2013. Service Aspects; Service Principles. Technical Specification (Release 12), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March.
19. 3GPP TS 23.857 V11.0.0 2012. Study of Evolved Packet Core (EPC) Nodes Restoration. Technical Specification (Release 11), Technical Specification Group Core Network and Terminals, 3GPP, December.
20. 3GPP TSG CT Meeting #69 RP-151569 2015. Release 13 Analytical View Version Sept. 9th 2015.
21. 3GPP TS 25.413 V11.3.0 2013. UTRAN Iu Interface Radio Access Network Application Part (RANAP) Signaling. Technical Specification (Release 11), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March.
22. 3GPP TS 48.008 V11.4.0 2013. Mobile Sw ITC hing Centre—Base Station System (MSC-BSS) Interface; Layer 3 Specification. Technical Specification (Release 11), Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network, 3GPP, March.
23. Ericsson 2014. Ericsson White Paper Uen 284-23-3248: Network Functions Virtualization and Software Management.
24. Samdanis, K. et al. 2017. From Network Sharing to Multi-tenancy: The 5G Network Slice Broker, arXiv:1605.01201. Accepted for publication in IEEE Communications Magazine.
25. Shimojo, T. et al. 2016. Future Core Network for the 5G Era. Technology Reports, NTT Docomo Technical Journal, 17(4):50–59.
26. Marek, S. 2016. Dynamic Network Slicing Is the ‘Secret Sauce’ Behind 5G. <https://www.sdxcentral.com/articles/news/dynamic-network-slicing-secret-sauce-behind-5g/2016/08/>
27. 3GPP TS 23.401 V14.0.0 2016. General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access. Technical

- Specification (Release 14), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, June.
28. 3GPP TR 23.714 V14.0.0 2016. Study on Control and User Plane Separation of EPC Nodes. Technical Report (Release 14), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, June.
 29. Erik, N., Ramesh, K.S. and Jennifer, S. 2010. The Akamai Network: A Platform for High-Performance Internet Applications. ACM Digital Library Newsletter ACM SIGOPS Operating Systems Review, 44(3):2–19.
 30. Md. HK, Eric GM, Gholamali CS (20) Request-Routing Trends and Techniques in Content Distribution Network. Available at <http://faculty.pucit.edu.pk/fawaz/cs595/lectures/10.1.1.91.5053.pdf>
 31. Ian, G. 2013. CDNs Rapidly Becoming Key to Operator Content Strategies. European Communications (Tektronix Communications Special Promotion).
 32. The Tech CoRNER 2012. Components of a Content Delivery Network (CDN). <http://www.thetech.in/2012/10/components-of-content-delivery-network.html>
 33. Ari, B. and Robert, K. 2010. The Content Delivery Network (CDN): Delivering the Ultimate Web Experience, Bell, June.
 34. Don, M. 2012. Building a CDN with F5, F5 Networks, Inc.
 35. Fourie, J. 2012. OSS/BSS Explained, Part 1: It Used to be Simple; Now a Massive Transformation Is Required. EBR #2 2012. https://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/businessreview/2012/issue2/oss-bss_explained.pdf
 36. TM Forum, Framework. <https://www.tmforum.org/tm-forum-framework/>
 37. 3GPP TS 32.101 V8.2.0 2008. Telecommunication Management; Principles and High Level Requirements. Technical Specification (Release 8), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, June.
 38. 3GPP TR 32.816 V1.9.0 2008. Telecommunication Management; Study on Management of Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) and Evolved Packet Core (EPC). Technical Report (Release 8), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, July.
 39. 3GPP TS 32.102 V13.0.0 2016. Telecommunication Management; Architecture. Technical Specification (Release 13), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, 3GPP, December.
 40. Americas 2015. NFV and SDN Networks, November.
 41. ETSI GS NFV-MAN 001 V1.1.1 2014. Network Functions Virtualisation (NFV); Management and Orchestration. ETSI, December.

BAGIAN V

BAB 12

KONEKTIVITAS PERANGKAT

Hari ini dan besok adalah tentang perangkat dan aplikasi yang terhubung dengan cerdas dan cerdas. Istilah perangkat dari perspektif jaringan seluler agak luas dan dapat mencakup ponsel berfitur, smartphone, tablet, perangkat yang dapat dikenakan, dan bahkan sensor. Bab ini menjelaskan kemungkinan untuk mengatasi persyaratan relevan perangkat 5G berikut seperti yang diidentifikasi oleh ITU-R dalam Rec. ITU-R M.2083-0 [1].

1. Daya Tahan Baterai Sangat Lama: khususnya untuk mMTC. Untuk mMTC, masa pakai baterai mungkin perlu lebih dari 10 tahun.
2. Kepadatan Koneksi: hingga 1 juta perangkat per km² yang memenuhi kualitas layanan tertentu.
3. Beragam Persyaratan Kinerja: seperti efisiensi energi, kemampuan konsumsi media, eMBB, dan URLLC.

Bagian pertama menjelaskan elemen arsitektur smartphone sedangkan bagian selanjutnya akan membahas tiga komponen, yaitu baterai, prosesor, dan antena. Dipahami bahwa ketiga komponen ini akan membutuhkan perhatian yang signifikan untuk memenuhi tuntutan komunikasi di masa depan. Selain itu, bagian didedikasikan untuk komunikasi D2D sementara bagian terakhir menjelaskan secara singkat peran SDO untuk berbagai aspek perangkat yang terhubung.

12.1 Komponen Smartphone

Smartphone terdiri dari beberapa komponen perangkat keras dan perangkat lunak, yaitu elemen arsitektur. Elemen-elemen ini bekerja dalam kolaborasi untuk mencapai tingkat kinerja dan pengalaman pengguna yang diperlukan. Elemen kunci termasuk platform perangkat lunak seluler, transceiver frekuensi radio, prosesor baseband, prosesor aplikasi, bagian pemrosesan sinyal (vocoder, kontrol logika), antarmuka pengguna, catu daya, antena, dan aksesoris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.1^[2-3].

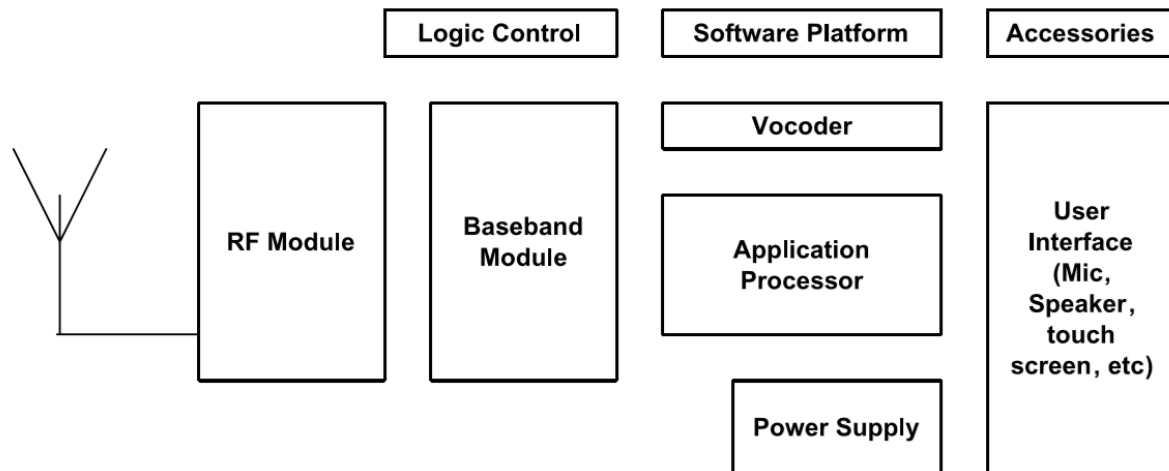
Platform perangkat lunak seluler menyediakan lingkungan untuk pengembangan dan eksekusi aplikasi. Biasanya terdiri dari sistem operasi, middleware, dan antarmuka pemrograman aplikasi.

Unit RF mengubah informasi pita dasar yang cocok untuk komunikasi antara stasiun pangkalan/sel kecil dan perangkat nirkabel. Ini terdiri dari transceiver (rantai pemancar dan penerima), rakitan antena, dan penguat daya RF. Antena mengubah gelombang radio menjadi tenaga listrik dan sebaliknya. Power amplifier, sebagai salah satu komponen terpenting dari sebuah ponsel, masih tetap menjadi komponen yang berdiri sendiri.

Prosesor baseband mengelola semua fungsi radio sementara prosesor aplikasi mengelola operasi aplikasi di ponsel. Bagian pemrosesan sinyal melakukan operasi pada informasi dan mengontrol operasi internal perangkat (yaitu, logika). Untuk memproses sinyal digital, perangkat menggunakan prosesor sinyal digital (DSP) atau sirkuit terintegrasi aplikasi (ASIC). Pengkodean ucapan, pengkodean saluran, pemrosesan data, dan fungsionalitas SIM ada di bagian ini.

Antarmuka pengguna memungkinkan pengguna untuk memulai dan menanggapi panggilan, pesan, dan komunikasi data. Antarmuka ini minimal terdiri dari input audio (mikrofon) dan output (speaker), unit tampilan, layar sentuh, slot memori eksternal, keypad sensor, dan konektor aksesori untuk menghubungkan pengisi daya baterai dan perangkat lain ke ponsel.

Catu daya (biasanya baterai isi ulang) menyediakan sumber daya yang diperlukan untuk mengoperasikan perangkat. Detail tentang komponen smartphone dapat ditemukan di^[2].



Gambar 12.1 Komponen telepon pintar. (Dari Asif, S. 2011. Ekosistem Komunikasi Seluler Generasi Berikutnya: Manajemen Teknologi untuk Komunikasi Seluler. Wiley Inc., Inggris^[2].)

12.2 Komponen

Peningkatan mungkin harus dilakukan di sebagian besar komponen untuk mencapai target 5G. Beberapa elemen akan memerlukan peningkatan yang cukup besar dan beberapa mungkin perlu pemikiran yang out of the box. Selain itu, target mungkin berakhir dengan mengganti elemen saat ini dengan yang baru dan/atau menghilangkan elemen sama sekali. Semua pemikiran ini harus dieksplorasi untuk mencapai tujuan.

Bagian ini terutama akan membahas catu daya (baterai), prosesor, dan antena yang memerlukan peningkatan wajar untuk memenuhi target komunikasi 5G.

12.3 Baterai

Baterai adalah yang terbesar tetapi salah satu komponen perangkat yang paling terbelakang dan, sebagai suatu peraturan, adalah teknologi yang paling tidak dihargai yang digunakan saat ini. Ini hampir tidak membuat daftar inovasi dan teknologi penting yang merupakan bagian dari kehidupan sehari-hari konsumen seperti smartphone, meskipun teknologi ini sangat bergantung pada mereka (yaitu, baterai).

Persyaratan untuk selalu aktif dan penggunaan jaringan sosial serta aplikasi data yang sangat besar mengurangi masa pakai baterai⁷². Sejauh menyangkut 5G, perangkat tidak hanya akan terhubung ke satu jaringan tetapi ke ratusan perangkat lain. Ini akan membutuhkan pemikiran ulang untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan energi, masa pakai baterai, kinerja keseluruhan, dan mungkin juga ukuran baterai.

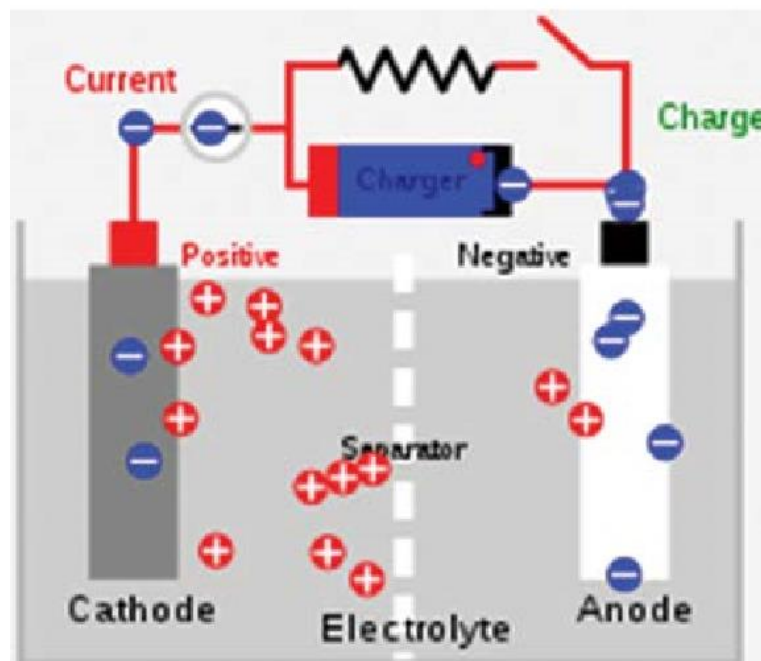
⁷² Masa pakai baterai adalah berapa lama perangkat dapat bekerja dengan sekali pengisian (kapasitas) baterai isi ulang.

12.4 Baterai yang dapat di isi ulang

Baterai adalah perangkat yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik yang berguna. Setiap baterai terdiri dari tiga bagian, yaitu elektroda negatif (anoda) yang menampung ion bermuatan, elektroda positif (katoda) yang menampung ion yang keluar, dan elektrolit yang memisahkan terminal-terminal ini (elektroda). Elektrolit adalah media kimia yang memungkinkan aliran muatan listrik antara katoda dan anoda.

Baterai isi ulang atau baterai penyimpanan adalah baterai yang dapat diisi ulang dan digunakan kembali berkali-kali melalui reaksi elektrokimia reversibel. Beberapa kombinasi umum bahan kimia yang digunakan dalam baterai termasuk timbal-asam, nikel kadmium (NiCd), nikel metal hidrida (NiMH), lithium ion (Li ion), dan lithium ion polymer (Li ion polymer). Gambar 12.2 menunjukkan proses pengisian ulang baterai.

Pentingnya baterai isi ulang tidak dapat diabaikan karena ini banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari perangkat portabel seperti telepon, hingga kendaraan ringan seperti kursi roda bermotor, dan catu daya yang tidak pernah terputus. Baterai timbal-asam adalah baterai SLI (Starting, Lighting, dan Ignition) yang paling umum digunakan di industri otomotif. Baterai NiCd digunakan di telepon nirkabel dan nirkabel tetapi sedang dihapus (termasuk NiMH) karena kombinasi faktor biaya dan lingkungan [4]. Baterai isi ulang yang paling umum untuk ponsel dan perangkat nirkabel adalah lithium ion dan lithium polymer. Ini sangat banyak digunakan karena merupakan salah satu baterai isi ulang yang paling energik dan paling ringan yang tersedia saat ini.



Gambar 12.2 Pengisian baterai isi ulang. (Dari Electopedia 2005. <http://www.mpoweruk.com/life.htm> [4].)

12.4.1 Masa pakai Baterai

Kegunaan baterai isi ulang biasanya ditentukan dalam hal masa pakai baterainya. Masa pakai baterai mengacu pada berapa lama perangkat dapat bekerja dengan sekali pengisian (kapasitas) baterai isi ulang. Sepanjang baris yang sama, masa pakai baterai mengacu pada

jumlah siklus pengisian/pengosongan hingga akhir masa pakainya, yaitu, hingga terdegradasi secara ireversibel dan tidak dapat menyimpan muatan yang berguna.

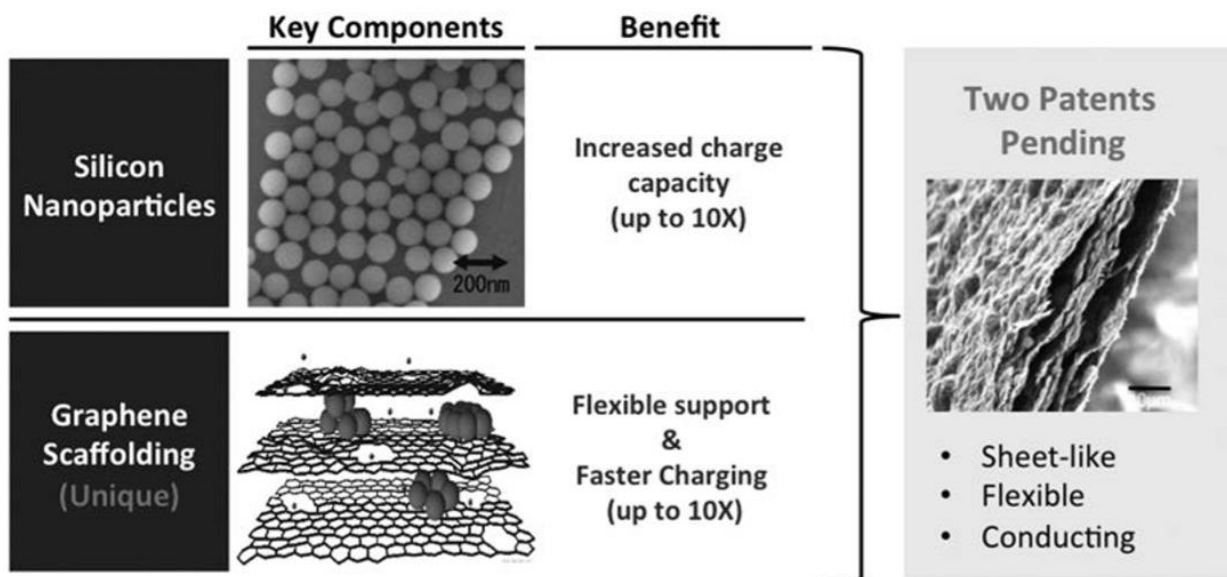
Kapasitas adalah seberapa banyak daya yang dapat ditampung oleh baterai, sering kali diukur dalam satuan mAh (mili-amphour). Hal ini ditentukan oleh jam pelayanan 1 volt kali tingkat debit. Secara umum, baterai dengan peringkat mAh yang lebih besar akan bertahan lebih lama daripada baterai dengan peringkat lebih kecil, dengan asumsi bahwa keduanya memiliki pola penggunaan yang sama.

Masa pakai baterai dapat dihitung dengan:

$$Jam = \frac{mAh}{mA}$$

12.4.2 Baterai Isi Ulang Umum

Lithium polymer (LiPo) adalah versi yang lebih maju secara teknologi dari baterai lithium ion (Li ion). Elektrolitnya disimpan dalam film polimer padat dan bukan dalam pelarut organik yang terikat langsung ke elektroda litium. Tidak seperti sel silinder lithium ion, yang memiliki casing logam kaku, sel kantong LiPo memiliki casing tipe foil (laminasi polimer) yang fleksibel. Karena sel kantong individu tidak memiliki casing logam yang kuat, dengan sendirinya ini lebih ringan dari sel silinder setara baterai lithium ion [4-7].



Gambar 12.3 Teknologi sistem SiNode. (Dari SiNode Systems 2013. Teknologi Anoda Unggul untuk Baterai Li-Ion Generasi Selanjutnya. <http://sinodesystems.com/> [9].)

Elektrolit cair dalam baterai lithium ion terdiri dari garam lithium, seperti LiPF₆, LiBF₄ atau LiClO₄⁷³ dalam pelarut organik, seperti etilen karbonat, dimetil karbonat, dan dietil karbonat. Elektrolit cair bertindak sebagai pembawa antara katoda dan anoda ketika arus mengalir melalui sirkuit eksternal. Grafena digunakan untuk anoda sedangkan kobalt oksida umumnya digunakan untuk katoda. Baterai LiPo dibuat dengan LiCoO₂ (lithium cobalt oxide) atau LiMn₂O₄ (lithium manganate) sebagai elektroda positif (katoda) dan dengan senyawa

⁷³ Lithium hexafluorophosphate (senyawa anorganik), Lithium tetrafluoroborate (senyawa kimia), dan Lithium Perchlorate (senyawa anorganik).

interkalasi Li atau karbon Li sebagai elektroda negatif (anoda). Elektrolit polimer nonkonduktor seperti polietilen oksida digunakan sebagai pemisah antara dua elektroda.

Untuk massa baterai tertentu, LiPo menahan lebih banyak daya karena casingnya yang sederhana. Namun, masa pakai LiPo sedikit kurang dari baterai lithium ion, tetapi perbedaannya semakin berkurang seiring waktu. Dapat dikatakan bahwa baterai LiPo lebih aman saat dibuang karena elektrolitnya padat dan kecil kemungkinannya bocor ke lingkungan, tetapi itu membuat polimer kurang hijau daripada elektrolit cair.

12.4.3 Peningkatan dalam Baterai Isi Ulang

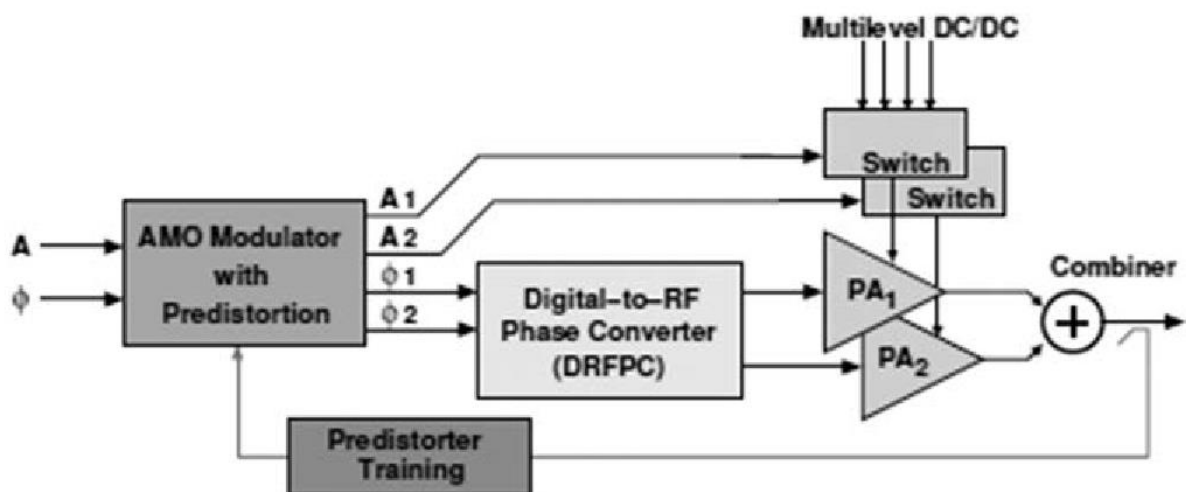
Meskipun kemajuan telah dibuat untuk membuat baterai isi ulang yang lebih baik, masih ada ruang untuk perbaikan. Sejumlah penelitian dan pendekatan sedang dilakukan untuk melakukan perbaikan dalam masa pakai baterai. Pada bagian ini, tiga pendekatan tersebut telah dipertimbangkan.

12.4.4 Pendekatan A—Cara Pembuatan Baterai Li Ion yang Lebih Baik

Salah satu cara perbaikan melibatkan membangun baterai Li ion menggunakan sepotong graphene yang dibor dengan lubang kecil. Karya ini berfokus pada penggunaan komposit nanopartikel silikon dan graphene untuk anoda. Dengan membuat struktur berpori di graphene, pergerakan elektron antara anoda dan katoda dapat dipercepat dan silikon dapat distabilkan. Pengembangan ini dilakukan oleh SiNode Systems, sebuah startup yang berasal dari Northwestern University, AS.

Teknologi SiNode memanfaatkan material komposit nanopartikel silikon dan graphene dalam struktur berlapis. Dalam pendekatan ini, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.3, perancah graphene material komposit yang sangat mengurangi degradasi kinerja yang cepat terkait dengan bahan anoda berbasis silikon [8-9].

Perusahaan mengklaim bahwa kapasitas anoda mereka sekitar 3200 mAh/g, yang hampir sepuluh kali lipat dari anoda grafit saat ini (370 mAh/g). Anoda kepadatan energi yang lebih tinggi akan memungkinkan faktor bentuk baterai yang lebih kecil dan masa pakai baterai yang lebih lama. Namun, keberhasilan teknologi ini tergantung pada ketersediaan proses manufaktur yang hemat biaya [8].



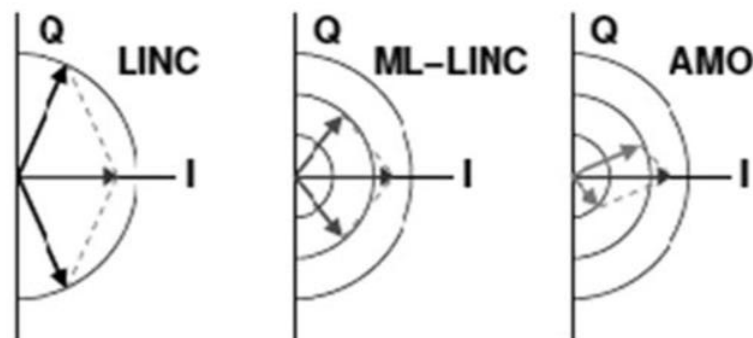
Gambar 12.4 Arsitektur asymmetric multilevel outphasing (AMO). (Dari Godoy, PA et al. 2009 Asymmetric Multilevel Outphasing Architecture for Multi-Standard Transmitters. 2009. IEEE Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, Boston, MA, USA, 7-9 Juni 2009, hlm. 237-240 ^[10].)

12.4.5 Pendekatan B—Baterai Li Ion yang Sama tetapi dengan Teknologi Amplifier yang Lebih Baik

Penguat daya adalah perangkat keras yang diperlukan tetapi tidak efisien dibandingkan dengan penggunaannya dalam komunikasi seluler. Penguat daya, sambil mengubah listrik menjadi sinyal radio, akhirnya memakan masa pakai baterai. Pendekatan yang disebut AMO (Asymmetric Multilevel Outphasing), dijelaskan dalam ^[10] oleh dua profesor teknik elektro MIT, meningkatkan efisiensi amplifier yang pada gilirannya diharapkan dapat meningkatkan masa pakai baterai ^[11,12]. Dengan demikian, konsep ini membayangkan penggunaan baterai lama yang sama, tetapi dengan teknologi amplifier yang lebih baik yang disebut AMO (Gambar 12.4).

AMO, teknologi penguat alternatif, saat ini sedang dikejar oleh Eta Devices, sebuah startup yang didirikan oleh masing-masing profesor MIT. AMO menyediakan kemampuan untuk memilih tegangan yang meminimalkan konsumsi daya dari antara satu set tegangan yang dikirim melintasi transistor ^[11]. Amplitudo dan fase terpredistorsi yang masuk dibagi menjadi dua pasang perintah amplitudo dan fase. DRFC (Digital to RF Phase Converter) melakukan modulasi fase dengan menanamkan komponen fase dari output mapper AMO ke dalam pembawa RF. Ketidaksiharian waktu tunda antara dua jalur dipertahankan dalam <1 nanodetik menggunakan pengatur waktu antara modulator AMO dan sakelar amplitudo ^[10].



Gambar 12.5 Diagram vektor komponen sinyal untuk LINC, ML-LINC, dan AMO. Sudut outphasing terkecil dicapai dengan AMO. (Dari Godoy, PA et al. 2009. *Arsitektur Outphasing Multilevel Asimetris untuk Pemancar Multi-Standar*. Simposium Sirkuit Terpadu Frekuensi Radio IEEE 2009, Boston, MA, AS, 7-9 Juni 2009, hlm. 237-240 ^[10].)

Modulasi AMO memecah vektor kompleks menjadi dua vektor sedemikian rupa sehingga jumlah dari dua vektor membangun vektor kompleks asli dengan sudut out-phasing minimum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.5. Vektor kompleks itu sendiri mewakili titik konstelasi pita dasar sedangkan dua vektor adalah representasi pita dasar dari dua keluaran PA. Dibandingkan dengan teknik LINC dan multilevel-LINC⁷⁴ (ML-linear amplification using nonlinear component) ^[13], AMO memungkinkan perubahan independen dalam tegangan suplai untuk masing-masing dari dua PA yang menghasilkan sudut out-phasing yang lebih kecil. Hal ini pada akhirnya menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi bahkan dalam kondisi PAPR yang relatif tinggi ^[10].

⁷⁴ LINC adalah teknik dimana sinyal modulasi linier diubah menjadi dua sinyal amplop konstan.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

12.4.6 Pendekatan C—Baterai Udara Logam

Penyimpanan energi adalah elemen penting dari elektronik portabel seperti smartphone. Keberhasilan perangkat pintar yang telah disaksikan dunia sejauh ini tidak akan mungkin terjadi tanpa penyimpanan energi/baterai Li ion berkualitas tinggi [14]. Pada tahap ini dapat diingat kembali bahwa kerapatan energi adalah jumlah energi yang tersimpan dalam sistem tertentu atau wilayah ruang per satuan volume yang diukur dalam MJ/L (megajoule per liter) dan jika itu per satuan massa, maka disebut spesifik. energi diukur dalam MJ/kg (megajoule per kilogram).

Saat ini, kami mendapatkan kurang dari 20% dari kapasitas volumetrik teoritis dari baterai sehingga ada ruang untuk perbaikan [15]. Jadi, untuk mengatasi tantangan ini, baterai udara logam telah muncul kembali. Sel elektrokimia udara logam adalah sel elektrokimia yang terdiri dari anoda logam, katoda udara, dan elektrolit berair. Komponen penting dari semua baterai udara logam (yang telah diselidiki sejak tahun 1970-an) adalah katoda udara yang mengarah pada kepadatan energi teoretis yang tinggi. Beberapa pasangan logam / udara telah dievaluasi untuk digunakan dalam baterai isi ulang, namun tidak ada yang dikomersialkan sampai saat ini. Pasangan yang paling dikenal adalah Li air, sedangkan zinc air juga menjadi berita [15-16]. Baterai udara logam memiliki energi spesifik teoretis yang sangat tinggi termasuk berat oksigen. Misalnya, Li air memiliki 5200 Wh/kg sedangkan energi spesifik Zn udara adalah 1090 Wh/kg (watt-hour/kilogram). Dibandingkan dengan Li air, energi spesifik baterai Li ion sekitar 150 Wh/kg [16].

Seiring dengan keuntungan, ada banyak tantangan, seperti pemberdayaan siklus reversibel sel udara logam dengan efisiensi energi tinggi dan tantangan desain sistem untuk memanfaatkan energi intrinsik tinggi [15-19]. Tugas penting terpenting memerlukan identifikasi elektrolit yang stabil untuk baterai Li-air. Masalah lain yang dihadapi Li/O₂ non-air adalah kualitas suplai oksigen. Elektrokimia Li/O₂ nonair sebagian besar sensitif terhadap kontaminasi oleh CO₂ (karbon dioksida) dan H₂O (air). Penggunaan tangki O₂ (oksigen) yang sangat murni juga dapat berdampak karena tangki tersebut dapat menurunkan densitas energi dan energi spesifik baterai Li air praktis. Sel udara Li sering kali mengeluarkan daya di bawah 3 V, tetapi mengisi daya pada 4 V atau lebih tinggi, dengan efisiensi energi perjalanan pulang pergi di bawah 70%. Dengan demikian, perbaikan dalam proses charge/discharge secara keseluruhan diperlukan [16].

ZAF Energy Systems mengklaim telah mengembangkan prototipe udara seng yang menghasilkan dua kali energi baterai Li ion dengan biaya sepertiga, dengan aplikasi mulai dari menyalakan ponsel hingga pesawat terbang. Perusahaan mengklaim bahwa mereka menggunakan teknologi bahan bakar yang dikembangkan di Lawrence-Livermore National Labs di bawah lisensi. Sel bahan bakar dapat diisi ulang secara mekanis, tetapi ZAF menemukan cara untuk membuatnya dapat diisi ulang secara elektronik. Elektrolit dalam baterai ZAF dapat diisi ulang dengan 500 kali pengisian daya yang menghasilkan masa pakai baterai yang lebih lama. Baterai seng udara yang dapat diisi ulang juga menghadapi tantangan yang serupa dengan baterai udara logam lainnya [20].

Meskipun terlalu dini untuk mengatakan opsi peningkatan baterai mana yang dapat memenuhi tuntutan jaringan 5G dan IoT (Internet of Things), udara tampaknya mengalir ke arah baterai udara logam.

12.5 Perangkat Prosesor

Perangkat Prosesor adalah komponen yang mengontrol hampir semua hal yang dilakukan atau seharusnya dilakukan perangkat. Meskipun baterai bertanggung jawab untuk memberi daya pada unit, prosesor, di sisi lain, bekerja sebagai otak dan otot, mengendalikan banyak fungsi perangkat ^[21]. Elemen kunci yang perlu diperhatikan untuk prosesor adalah kecepatan, proses manufaktur, dan jumlah core.

Kecepatan prosesor diukur dalam gigahertz (GHz). Pada tahun 2013, prosesor smartphone biasa dapat memiliki apa saja dari 0,8 GHz hingga 2 GHz. Baru empat tahun yang lalu prosesor 1 GHz (unit pemrosesan pusat) di smartphone dianggap sebagai masalah besar, tetapi menurut standar saat ini, 1 GHz agak lambat ^[23]. Kecepatan pemrosesan (clock speed) mencapai 3,0–3,5 GHz yang bagus untuk aplikasi berkinerja tinggi.

Elemen kinerja lainnya adalah proses manufaktur semikonduktor yang diukur dalam nanometer. Misalnya, proses 45 nm akan membawa sebanyak 410 juta transistor ^[22]. Selanjutnya, kemajuan dari proses 28 nm ke 20 nm diharapkan memberikan peningkatan 30% dalam kecepatan clock sementara pada saat yang sama pengurangan 25% dalam panas ^[23]. Seperti yang diperkirakan oleh ITRS (Internasional Technology Roadmap for Semiconductors) proses manufaktur diharapkan mencapai 5 nm pada tahun 2020 sehingga lebih hemat energi.

Selain prosesor single core, prosesor multicore juga banyak ditemukan di smartphone. Prosesor multicore membantu dalam multitasking, artinya perangkat dengan fungsi seperti itu mampu melakukan lebih banyak tugas sekaligus. Cara terbaik untuk membayangkan prosesor multicore adalah seperti gurita; semakin banyak inti atau lengan yang dimiliki perangkat, semakin banyak tugas yang dapat diselesaikan secara bersamaan dan dengan demikian ini membuatnya lebih efisien.

Untuk menjadi luar biasa cepat seperti yang dibutuhkan untuk komunikasi 5G, kecepatan prosesor juga perlu ditingkatkan. Prosesor berkecepatan tinggi bagus untuk aplikasi berkinerja tinggi seperti rendering 3D (menerjemahkan adegan 3D menjadi gambar 2D) dan bermain game. Aplikasi semacam itu dapat menghabiskan sebagian besar daya CPU (central processing unit) yang membuat multitasking menjadi sulit. Jadi, untuk melayani aplikasi proses intensif dan pada kecepatan tinggi, perangkat mungkin memerlukan prosesor hemat energi multicore dan kecepatan clock tinggi ^[24].

12.6 Jenis Prosesor

Sebagian besar smartphone terdiri dari dua prosesor yaitu prosesor aplikasi dan baseband sedangkan pada ponsel fitur low-end, prosesor tujuan umum sering digunakan sebagai satu-satunya prosesor. Alasan utama pemisahan ini adalah untuk tidak mengkompromikan kinerja aplikasi, terutama pada perangkat kelas menengah ke atas.

Pasar telepon nirkabel didominasi oleh arsitektur prosesor ARM (Advanced RISC⁷⁵ Machine) 32-bit⁷⁶ yang hadir di lebih dari 95% smartphone. ARM mengembangkan set instruksi dan arsitektur inti prosesor, tetapi tidak memproduksi prosesor. Arsitektur menjelaskan aturan bagaimana mikroprosesor akan berperilaku, tetapi tanpa membatasi atau menentukan bagaimana mikroprosesor akan dibangun. Arsitektur mikroprosesor mendefinisikan set instruksi prosesor, model programmer, dan bagaimana prosesor berinteraksi dengan sumber daya memori terdekat. Karakteristik daya yang rendah, bandwidth data yang tinggi, dan

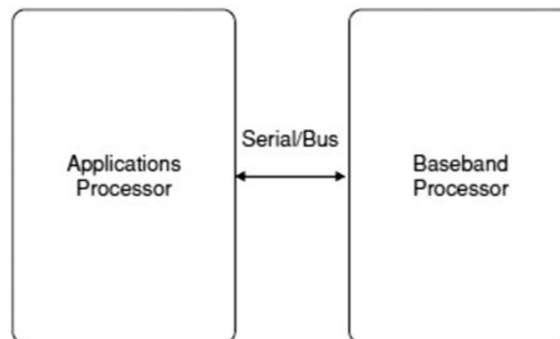
⁷⁵ Komputer Set Instruksi yang Dikurangi.

⁷⁶ Arsitektur 64-bit telah menjadi bagian dari perangkat kelas atas
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

kemampuan pemrosesan media yang digabungkan dengan inti kinerja tinggi membuat arsitektur mikro ARM sangat cocok untuk aplikasi jaringan, nirkabel, dan konsumen ^[25-26].

Sebuah prosesor baseband mengelola semua fungsi radio (modulasi sinyal, encoding, pergeseran frekuensi radio, dll). Sebuah prosesor baseband terdiri dari dua bagian, yaitu modem untuk memodulasi dan demodulasi sinyal radio dan unit stack protokol. Unit tumpukan protokol menangani komunikasi antara stasiun pangkalan dan terminal bergerak dengan membangun koneksi, mengelola sumber daya radio, menangani kesalahan, dan mengemas data masuk dan keluar ^[27].

Prosesor aplikasi, sering disebut prosesor seluler, di sisi lain, mengelola sisa fungsi smartphone. Prosesor aplikasi menjalankan sebagian besar aplikasi untuk pengguna dan pada saat yang sama berkomunikasi dengan prosesor pita dasar. Komunikasi antara dua prosesor baik terjadi melalui link serial atau bus multipleks kecepatan tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.6.



Gambar 12.6 Solusi smartphone 2-chip. (Dari Asif, S. 2011. Ekosistem Komunikasi Seluler Generasi Berikutnya: Manajemen Teknologi untuk Komunikasi Seluler. Wiley Inc., Inggris ^[2].)

12.7 Area Perbaikan Utama

Fokus dari subbagian ini akan berada di area di mana peningkatan dapat membantu dalam mencapai target 5G. Yaitu, pembahasan akan multicore, teknologi proses manufaktur atau teknologi proses, dan kecepatan clock tinggi.

12.7.1 Teknologi Proses Manufaktur

Mikroprosesor terdiri dari miliaran transistor yang direkatkan melalui proses yang disebut fabrikasi perangkat semikonduktor. Teknologi proses (atau simpul teknologi) diukur dalam nanometer (nm). Misalnya, di masa lalu, simpul 45 nm mengacu pada ukuran struktur terkecil dari satu transistor, yang kira-kira 1.000 kali lebih tipis dari diameter rambut manusia. Baru-baru ini, misalnya, prosesor seluler Qualcomm Snapdragon 820 menggunakan teknologi proses rendah 14 nm. Dengan demikian, kemajuan sedang berlangsung untuk mengurangi ukuran node untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi.

Pergi ke teknologi proses yang lebih baik (22 nm, 16 nm, dan kemudian 10 nm) akan meningkatkan efisiensi prosesor mobile. Sebuah chip yang menggunakan fabrikasi semikonduktor 14 nm berarti ukurannya bisa sekitar setengah dari ukuran chip smartphone 28 nm saat ini. Ini berarti lebih sedikit konsumsi daya, lebih sedikit panas, dan tentu saja lebih banyak ruang di perangkat ^[28].

Industri semikonduktor menggunakan konsep die shrink. Istilah die shrink (terkadang optical shrink atau process shrink) mengacu pada mengambil desain yang ada dan menurunkannya untuk digunakan dengan lambda yang lebih kecil⁷⁷, tanpa membuat perubahan desain besar. Proses penyusutan ini menciptakan sirkuit serupa menggunakan proses fabrikasi tingkat lanjut. Hasilnya adalah biaya yang lebih rendah dan lebih banyak ruang pada potongan silikon yang sama.

Dalam fabrikasi CPU, die shrink mengikuti kemajuan ke node lithographic⁷⁸ yang didefinisikan oleh ITRS (Tabel 12.1)^[29]. Namun, untuk GPU yang dirancang oleh perusahaan fabless, die shrink melibatkan penyusutan die pada node yang tidak ditentukan oleh ITRS dan disebut sebagai setengah node. Misalnya, node 40 nm disebut node setengah sementara antara node ITRS utama dari 45 nm dan 32 nm. Ini adalah pengukuran sementara antara dua node litograf yang ditentukan ITRS, sebelum menyusut lebih jauh ke node yang ditentukan ITRS lebih rendah, yang membantu dalam menghemat biaya R&D. Keputusan untuk melakukan die shrink ke node penuh atau setengah node terutama terletak pada pengecoran dan bukan pada perancang sirkuit terpadu (seperti Texas Instruments).

Tabel 12.1 Stopgap Node versus ITRS

Main ITRS Node	Stopgap Half Node
250 nm	220 nm
180 nm	150 nm
130 nm	110 nm
90 nm	80 nm
65 nm	55 nm
45 nm	40 nm
32 nm	28 nm
22 nm	20 nm
16 nm	14 nm
10 nm	8 nm
7 nm	6 nm
5 nm	4 nm

12.7.2 Multicore dan Kecepatan Jam Lebih Tinggi

Dua smartphone yang memiliki kecepatan clock yang sama tidak berarti keduanya akan memiliki kinerja yang serupa. Ini karena produsen chipset yang berbeda mengambil pendekatan yang berbeda dalam merancang prosesor. Prosesor multicore adalah komponen komputasi tunggal dengan dua atau lebih unit pemrosesan pusat independen (disebut "core"). Smartphone sekarang umumnya tersedia dengan prosesor dual core dan quad core. Fitur utama desain multiinti dari perspektif energi adalah penyeimbangan beban. Load balancing memungkinkan tugas tertentu diprioritaskan dan inti spesifik digunakan untuk membedakan tugas. Ini menjaga konsumsi energi serendah mungkin memberikan masa pakai baterai yang lebih baik daripada prosesor inti tunggal^[30]. Keuntungan lain dari memiliki multicore pada die

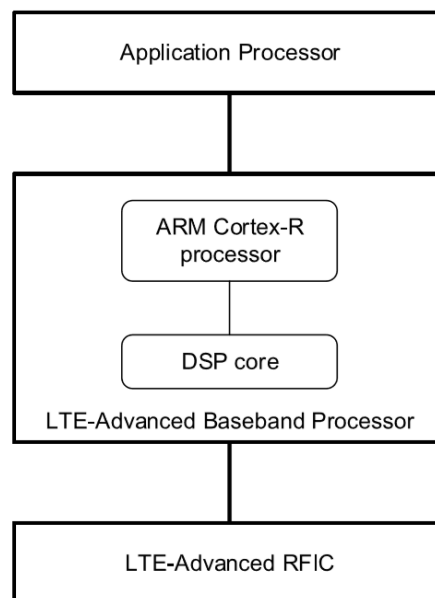
⁷⁷ Di bidang semikonduktor, semua dimensi berukuran dalam lambda.

⁷⁸ Fotolitografi atau litografi adalah proses yang digunakan untuk membuat setiap lapisan chip dan digunakan untuk menerapkan pola ke wafer silikon.

yang sama adalah memungkinkan sinyal menempuh jarak yang lebih pendek, dan dengan demikian memiliki degradasi sinyal yang lebih sedikit. Sinyal kualitas yang lebih tinggi ini memungkinkan lebih banyak data untuk dikirim dalam jangka waktu tertentu karena ini bisa lebih pendek dan tidak perlu diulang sesering mungkin ^[29].

Karena kekuatan pemrosesan prosesor seluler meningkat, demikian juga pembatasan daya dan tantangan panas berlebih. Mengingat jejak kecil prosesor di perangkat dan kurangnya kipas, masalah pembuangan panas bisa menjadi akut. Dengan demikian, pengguna tidak akan mendapatkan banyak manfaat dari semua inti jika perangkat itu sendiri terlalu panas untuk dipegang. Oleh karena itu, multicore menawarkan solusi yang memungkinkan di mana masing-masing inti dikhususkan untuk kebutuhan pemrosesan tertentu, misalnya, video, sehingga mengurangi pembuangan daya dan pembangkitan panas ^[30,31].

Untuk menjalankan aplikasi, prosesor perlu terus-menerus menyelesaikan perhitungan dan jika smartphone memiliki kecepatan clock yang lebih tinggi maka perhitungan ini dapat dilakukan lebih cepat yang akan membuat aplikasi berjalan lebih cepat juga.



Gambar 12.7 Perangkat pengguna LTE-Advanced.

12.8 Contoh Prosesor LTE-Advanced

LTE-Advanced (4G) telah menetapkan persyaratan latensi yang ketat. Misalnya, ARM Holdings, yang merupakan produsen prosesor ponsel dominan di dunia, telah mengembangkan RAM (memori akses acak) latensi rendah dalam prosesor Cortex-R-nya untuk mengatasi tantangan ini. RAM dengan latensi rendah adalah area memori yang digunakan untuk menyimpan perangkat lunak dan data penting seperti Rutinitas Layanan Interupsi. ISR dapat dieksekusi segera tanpa menunggu transaksi bus AXI (Advanced Extensible Interface) utama selesai dan/atau ISR diambil ke cache level 1 (atau cache utama yang digunakan untuk penyimpanan sementara instruksi dan data yang diatur dalam blok 32 byte) ^[32]. Respon interupsi yang sangat cepat diperlukan untuk mempertahankan komunikasi LTE-Advanced yang andal ^[25]. Gambar 12.7 menunjukkan representasi singkat dari perangkat pengguna LTE-Advanced ^[32].

Modem LTE-Advanced terdiri dari rantai pemrosesan sinyal terima dan transmisi yang melayani antarmuka udara melalui sirkuit terintegrasi transceiver RF. Menurut spesifikasi

3GPP, pemrosesan sinyal dibagi menjadi beberapa lapisan dengan lapisan 1 menyediakan semua fungsi sinyal tingkat rendah seperti koreksi kesalahan maju, interleaving, modulasi konstelasi, MIMO, dan sebagainya, dan memelihara koneksi dengan stasiun pangkalan. Fungsi lapisan 1 dapat ditangani melalui inti DSP sementara fungsi kontrol dan manajemennya diimplementasikan pada prosesor ARM. Pemrosesan lapisan 2 (MAC, PDCP, dan RLC) dan lapisan 3 (RRC) dapat dilakukan dengan prosesor ARM Cortex-R5/Cortex-R7 yang sama. Antarmuka prosesor baseband ke prosesor aplikasi yang menjalankan sistem operasi seperti Android.

Bagian ini menunjukkan sejumlah komponen yang perlu dievaluasi untuk merancang perangkat 5G masa depan. Pada akhirnya, campuran yang tepat dari multicore (quad ke heksa dan seterusnya), proses manufaktur (16–5 nm), dan kecepatan clock (2,0–3,5 GHz dan lebih tinggi) diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan.

12.9 MIMO Skala Besar

MIMO secara sederhana adalah konsep antena pintar yang memanfaatkan lebih dari satu antena baik di base station maupun di terminal. MIMO telah dieksplorasi dan digunakan terutama untuk meningkatkan kapasitas sistem seluler dan broadband. Berbagai bentuk MIMO telah digunakan di jaringan LTE dan 4G. A 2×2 MIMO, yang mengacu pada dua antena pengirim di stasiun pangkalan dan dua antena penerima di perangkat, biasanya digunakan dalam jaringan LTE. Konfigurasi 4×4 dan 8×8 yang menghasilkan empat/delapan antena pemancar di base station dan empat/delapan di receiver juga mendapat perhatian ^[33].

Ketika datang ke 5G, ia dikenal dengan nama lain seperti sistem antena skala besar, MIMO sangat besar, MIMO hiper, dan dimensi penuh (FD-)MIMO (istilah 3GPP). Dalam 5G, MIMO mungkin terdiri dari puluhan antena di kedua ujungnya, sehingga istilah MIMO masif biasanya digunakan. Konsep ini pertama kali diusulkan oleh Thomas L. Marzetta pada tahun 2010-11 ^[34] yang menyatakan bahwa satu-satunya hambatan dalam MIMO masif adalah interferensi antar sel karena kontaminasi pilot ^[35]. Konsep ini berlaku untuk semua jenis sel (makro, mikro, dan kecil) membuat jaringan lebih padat dari sebelumnya.

Menentukan jumlah antena yang tepat per terminal dan stasiun pangkalan bersama dengan skema deteksi adalah tugas yang sulit. Penting juga untuk memahami efisiensi spektral, daya, dan energi MIMO skala besar. Sebagai contoh, penulis di ^[36] menunjukkan bahwa filter yang cocok membutuhkan lebih banyak antena daripada skema deteksi MMSE untuk mencapai tingkat kinerja yang sama. Demikian pula, penulis di ^[37] menunjukkan bahwa efisiensi daya bervariasi apakah penerima memiliki informasi saluran-keadaan sempurna (CSI) atau apakah hanya memiliki CSI tidak sempurna yang berasal dari pilot uplink. Daya terpancar dari terminal dapat dibuat berbanding terbalik dengan M (array antena di base station) sambil mempertahankan keuntungan multiplexing spasial. Untuk CSI tidak sempurna, pangkat hanya dapat dibuat berbanding terbalik dengan akar kuadrat dari M ^[37].

12.10 Perspektif 3GPP

Spesifikasi 3GPP untuk LTE mencakup dukungan untuk berbagai konfigurasi, yaitu 4×4 MIMO, 8×2 MIMO, dan multi-user MIMO (MU-MIMO) pada downlink dan 1×4 pada uplink ^[38]. Untuk jaringan masa depan seperti 5G, 3GPP telah menyelesaikan studi ^[39] pada FD-MIMO untuk memahami manfaat kinerja dari peningkatan standar yang menargetkan operasi array antena dua dimensi dengan 8 atau lebih unit transceiver (TXRU) per titik transmisi. Array antena dua dimensi dapat menggunakan hingga 64 antena di stasiun pangkalan. Penggunaan

pita cmWave dan mmWave dengan panjang gelombang pendek akan memfasilitasi FD-MIMO. FD-MIMO secara bersamaan mendukung beamforming elevasi (di gedung tinggi) dan azimuth (di tanah).

FD-MIMO adalah teknologi menjanjikan yang dapat meningkatkan kapasitas seluler secara signifikan. Namun, sejumlah tantangan [40] perlu mendapat perhatian sebelum menjadi bagian dari jaringan komersial. Skala ekonomis diperlukan untuk membangun rantai frekuensi radio dan konverter bawah/atas yang hemat biaya. Efisiensi biaya ini dapat mengakibatkan gangguan pada perangkat keras. Pemrosesan sinyal yang koheren perlu dilakukan dengan cepat dan real time mengingat banyaknya data baseband yang perlu diproses. Akhirnya, penggabungan puluhan antena mengingat ruang kecil di smartphone akan menjadi tantangan yang menakutkan.

Dibandingkan dengan BTS, relatif sulit untuk menambah jumlah antena di smartphone. Namun, juri masih belum menentukan rasio hemat energi yang paling layak untuk antena di kedua sisi.

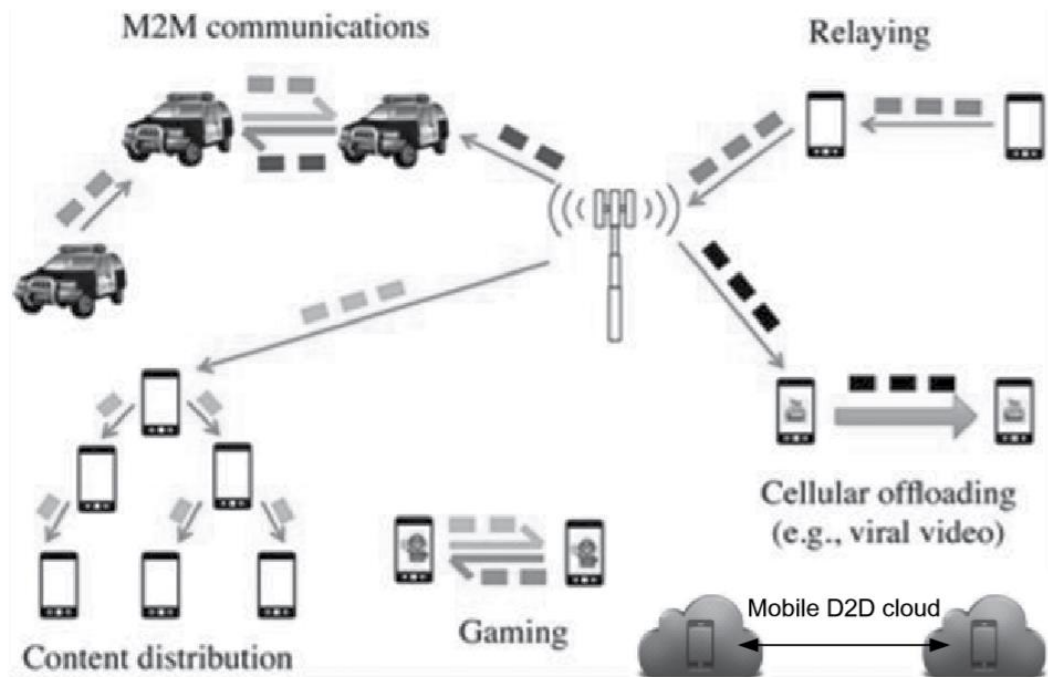
12.11 Komunikasi D2D

Permintaan data terus meningkat yang secara konstan mendorong cakupan kapasitas jaringan seluler 3G/4G [41]. Oleh karena itu, industri mencari paradigma baru untuk merevolusi metode komunikasi tradisional jaringan seluler. Komunikasi D2D adalah salah satu paradigma yang tampaknya menjadi konsep yang menjanjikan untuk mengatasi permintaan data yang fenomenal seperti itu dalam teknologi seluler generasi berikutnya.

Komunikasi D2D adalah teknologi masa depan. Ini didirikan sebagai tautan komunikasi antara dua perangkat, baik secara langsung menggunakan pita ISM (Industrial, Scientific, Medical) atau melalui jaringan seluler melalui spektrum berlisensi untuk bertukar dan berbagi informasi. Penggunaannya dalam jaringan seluler tidak hanya akan meningkatkan kinerja jaringan, tetapi juga meningkatkan pengalaman pengguna dengan aplikasi yang muncul seperti distribusi konten dan iklan sadar lokasi [41]. Namun, detail tentang bagaimana dan kapan mengaktifkan mode D2D, cara mengelola QoS, dan cara menjadwalkan sumber daya dan mengelola daya masih belum jelas.

Sejumlah kasus penggunaan untuk D2D telah diperkenalkan dalam literatur seperti seperti multicasting [42,43], komunikasi peer-to-peer [44], penyebaran video [45-48], mesin-ke-mesin (M2M) komunikasi [49], pembongkaran seluler [50], jaringan sosial [51], komputasi awan bergerak [52], komunikasi keselamatan publik, dan sebagainya. Gambar 12.8 menunjukkan representasi dari kasus penggunaan seperti komunikasi D2D di jaringan seluler.

Salah satu upaya pertama untuk mengimplementasikan komunikasi D2D dalam jaringan seluler dilakukan oleh FlashLinQ Qualcomm. Arsitektur jaringan PHY/MAC-nya yang memungkinkan perangkat seluler menemukan perangkat FlashLinQ lain dan berkomunikasi secara peer-to-peer. FlashLinQ, dengan menggunakan teknologi OFDM/OFDMA dan penjadwalan terdistribusi, menciptakan metode yang efisien untuk sinkronisasi waktu, penemuan rekan, dan manajemen tautan di jaringan seluler yang mendukung D2D [53]. Namun, sejauh ini belum menjadi bagian dari jaringan seluler mana pun.



Gambar 12.8 Contoh kasus penggunaan komunikasi D2D dalam jaringan seluler. (Dari Asadi, A., Wang, Q. dan Mancuso, V. 2014. Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks. Cornell University, arXiv: 1310.0720v6 [cs.GT], New York, USA ^[41].)

Pada tahap ini, penting untuk mengidentifikasi perbedaan antara mode komunikasi M2M dan D2D. M2M adalah metode komunikasi data antara mesin dengan atau tanpa interaksi manusia, tanpa batasan jarak. Mesin dapat berupa apa saja selain terminal pengguna (TV, kulkas, dll.). D2D, di sisi lain, dibatasi untuk terminal pengguna genggam setidaknya untuk saat ini dan jarak terbatas ^[41].

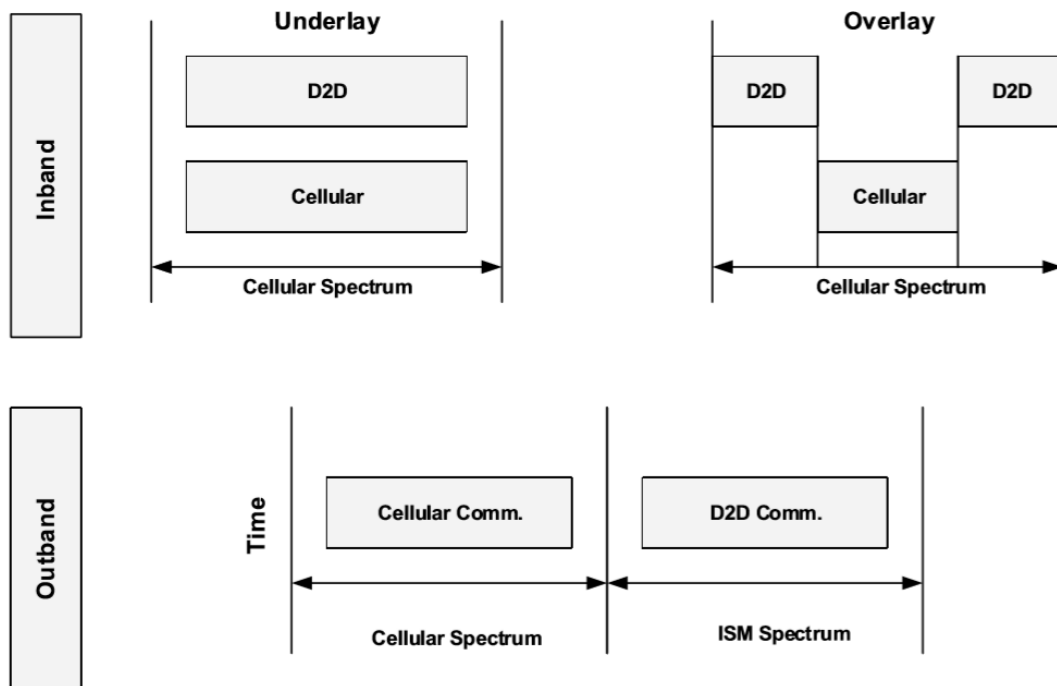
12.12 Taksonomi

D2D dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu D2D inband dan D2D outband. Gambar 12.9 menunjukkan pemisahan kedua kategori ini. Selama komunikasi D2D inband, hanya spektrum seluler berlisensi yang dapat digunakan sementara dalam komunikasi D2D outband, spektrum seluler berlisensi didedikasikan untuk layanan seluler sedangkan pita ISM tidak berlisensi digunakan untuk D2D.

D2D inband yang digarisbawahi mengusulkan penggunaan spektrum seluler untuk komunikasi D2D dan seluler, yaitu, sumber daya radio digunakan bersama. D2D inband overlay di sisi lain mengusulkan untuk mendedikasikan sebagian dari sumber daya seluler hanya untuk komunikasi D2D. D2D inband yang dilapis dapat meningkatkan efisiensi spektrum jaringan seluler dengan menggunakan kembali sumber daya spektrum. D2D inband overlay di sisi lain meningkatkan hal yang sama dengan mengalokasikan sumber daya seluler khusus untuk pengguna D2D. Namun, yang pertama mungkin mengalami masalah gangguan sementara yang terakhir menghadapi rintangan alokasi sumber daya yang tepat. Motivasi untuk memilih komunikasi inband biasanya memiliki kontrol yang tinggi atas spektrum berlisensi seluler.

Komunikasi D2D yang memanfaatkan penggunaan pita ISM yang tidak berlisensi disebut komunikasi D2D outband. Bentuk D2D ini berlangsung tanpa membangun komunikasi dengan jaringan seluler dan dengan demikian mengurangi interferensi dan meningkatkan kapasitas jaringan. Koordinasi sumber daya radio dapat berlangsung baik melalui base station yang

dikendalikan atau bisa otonom jika dikendalikan oleh pengguna itu sendiri. Penggunaan pita ISM ini memerlukan penggunaan antarmuka tambahan yang mendukung teknologi nirkabel seperti WiFi Direct^[54], ZigBee^[55] atau Bluetooth^[56]. Dengan demikian, penggunaan teknologi nirkabel tanpa izin membawa rasa tidak aman pada gambar D2D^[57].



Gambar 12.9 Representasi skema dari overlay inband, underlay inband, dan outband D2D. (Dari Asadi, A., Wang, Q. dan Mancuso, V. 2014. Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks. Cornell University, arXiv: 1310.0720v6 [cs.GT], New York, USA^[41].)

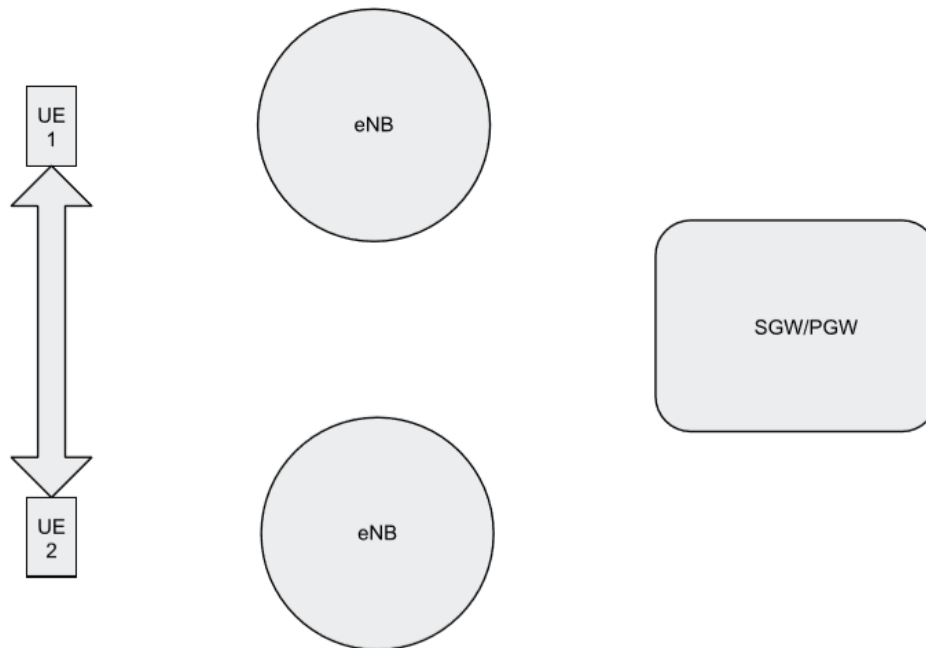
12.13 Standarisasi D2D

Komunikasi D2D pertama kali diusulkan pada tahun 2000^[58] untuk mengaktifkan relai multihop di jaringan seluler. Kemudian, kira-kira setelah satu dekade, kelayakan komunikasi D2D dipelajari oleh 3GPP untuk jaringan LTE dan 4G (LTE-Advanced). 3GPP menerbitkan studi tentang komunikasi D2D di bawah judul TR 22.803 Studi kelayakan untuk Proximity Services (ProSe)^[59] pada Juni 2013. Studi ini mengidentifikasi dua jenis ProSe untuk jaringan generasi berikutnya. Kedua jalur data ini diharapkan menggunakan spektrum berlisensi (atau D2D inband seperti yang dirujuk dalam literatur).

(1) Jalur data mode langsung (Gambar 12.10) di mana dua perangkat bertukar data paket tanpa melibatkan elemen jaringan apa pun. Operator dapat memindahkan jalur data (bidang pengguna) dari akses dan jaringan inti ke tautan langsung antara UE, dan (2) jalur data yang dirutekan secara lokal (Gambar 12.11) di mana peralatan pengguna D2D (UE) bertukar data secara lokal dengan menyampaikan melalui node pengendali (misalnya, eNodeB).

Ada beberapa pilihan untuk jalur kontrol dalam komunikasi ProSe. Jika dua UE dilayani oleh eNB yang sama, sistem dapat memutuskan untuk melakukan komunikasi ProSe menggunakan informasi kontrol yang dipertukarkan antara UE, eNB, dan EPC. Dalam skenario ini, UE juga dapat bertukar pensinyalan kontrol secara langsung satu sama lain untuk meminimalkan modifikasi pensinyalan. Jika dua UE dilayani oleh eNB yang berbeda, sistem dapat memutuskan untuk melakukan komunikasi ProSe menggunakan informasi kontrol yang dipertukarkan antara UE, eNB, dan EPC. Dalam skenario ini, eNB dapat berkoordinasi satu

sama lain atau dengan EPC untuk manajemen sumber daya radio. Mirip dengan kasus sebelumnya, UE juga dapat berkomunikasi secara langsung satu sama lain untuk bertukar sinyal kontrol.



Gambar 12.10 Jalur data "mode langsung" dalam EPS untuk komunikasi antara dua UE. (Dari TR 22.803 (V12.2.0) 2013. Studi Kelayakan untuk Layanan Kedekatan (ProSe) Laporan Teknis (Rilis 12), Layanan Spesifikasi Teknis dan Aspek Sistem, 3GPP, Juni [59].)

3GPP juga mendefinisikan aspek lain dari komunikasi ProSe, seperti penemuan langsung ProSe, roaming, dukungan untuk layanan keselamatan publik, dukungan untuk komunikasi langsung WLAN, dan sebagainya. Rincian aspek-aspek ini dapat ditemukan di [60]. Berdasarkan skema yang disebutkan di atas, 3GPP mengusulkan puluhan kasus penggunaan [61], seperti UE berkemampuan ProSe menemukan UE berkemampuan ProSe lainnya (yang dapat digunakan untuk jejaring sosial), mendukung sejumlah besar UE dalam jaringan yang padat. lingkungan (yang dapat digunakan untuk layanan parkir kota), membangun komunikasi langsung WLAN berbantuan ProSe (yang dapat digunakan untuk pembongkaran lalu lintas seluler), dan sebagainya.

12.14 Pertimbangan Teknikal

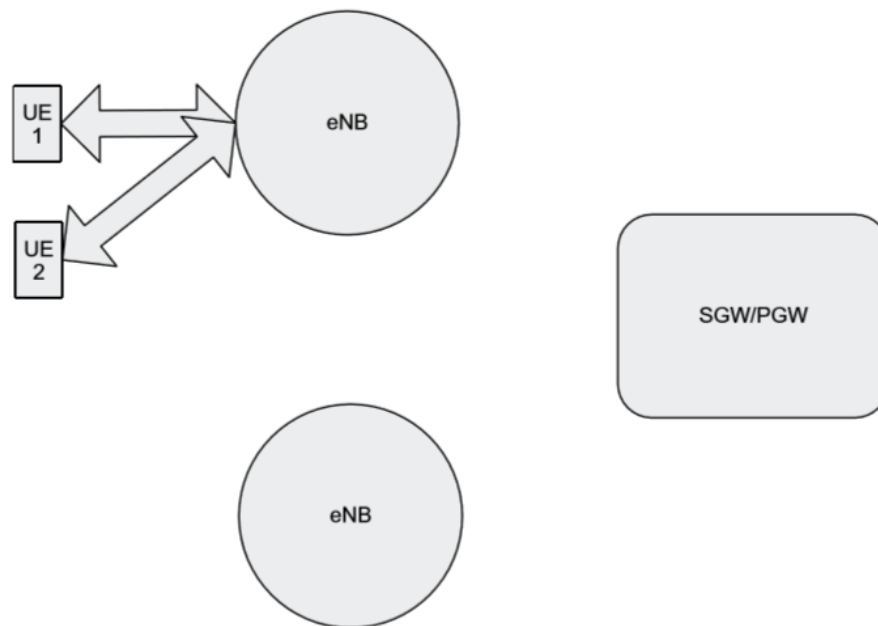
Komponen teknis utama D2D adalah pemilihan mode yang memilih mode komunikasi seluler atau langsung untuk pasangan D2D berdasarkan faktor-faktor seperti situasi sumber daya saat ini, beban lalu lintas, dan tingkat interferensi. Pertanyaan mendasar adalah kapan dan bagaimana mengaktifkan mode D2D. Dalam [61], penulis telah mengusulkan empat mode komunikasi, yaitu seluler, D2D opsional, D2D berbasis pathloss, dan D2D paksa. Itu adalah,

- Seluler: Semua perangkat dalam mode seluler dan tidak ada mode komunikasi D2D yang tersedia.
- D2D Opsional: Vektor pemilihan mode untuk semua perangkat dicari untuk meminimalkan norma pertama dari kekuatan perangkat yang digabungkan pada dua slot waktu dan untuk memenuhi kriteria nilai eigen⁷⁹.

⁷⁹ Nilai eigen adalah seperangkat skalar khusus yang terkait dengan sistem persamaan linier (yaitu, persamaan matriks).

- Path loss D2D: Mode D2D dipilih jika path loss antara perangkat yang berkomunikasi kurang dari minimum path loss antara setiap perangkat dan base station.
- Force D2D: Mode D2D ini selalu dipilih untuk perangkat yang berkomunikasi secara lokal (yaitu perangkat yang memiliki peer).

Itu ditunjukkan pada ^[61] bahwa jarak memainkan peran penting dalam pemilihan mode. Jika jaraknya kecil, yaitu sekitar 5 m, keempat mode memiliki kinerja yang sebanding. Dengan bertambahnya jarak, kinerja D2D berbasis pathloss dan gaya D2D menurun karena metode ini tidak mempertimbangkan sebagian besar situasi interferensi.



Gambar 12.11 Jalur data "dirutekan secara lokal" di EPS untuk komunikasi antara dua UE saat UE dilayani oleh eNB yang sama. (Dari TR 22.803 (V12.2.0) 2013. Studi Kelayakan untuk Layanan Kedekatan (ProSe) Laporan Teknis (Rilis 12), Layanan Spesifikasi Teknis dan Aspek Sistem, 3GPP, Juni ^[59].)

Dalam D2D inband underlay yang menggunakan kembali sumber daya spektrum sistem utama (misalnya, seluler), alokasi sumber daya pasangan D2D adalah tugas penting untuk menjaga kinerja jaringan makrosel-kecil yang heterogen pada tingkat yang memuaskan ^[62,63]. Tugas ini menantang karena penerima dalam sistem ini mengalami gangguan tiga tingkat, yaitu interferensi makro-ke-perangkat, smallcell-to-device, dan interferensi perangkat-ke-perangkat ^[64]. Tantangan lain di sepanjang baris yang sama adalah untuk menjamin keadilan di antara D2D UE saat terjadwalan.

Dalam ^[65], penulis telah mengusulkan penjadwalan bersama dan skema alokasi sumber daya untuk mengatasi tantangan ini. Kerangka permainan Stackleburg digunakan oleh mereka untuk meningkatkan kinerja komunikasi D2D di HetNet. Analisis menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi spektral untuk makrosel dan sel kecil berada di urutan 2-3 bps/Hz.

12.15 Aplikasi

Operator nirkabel sudah mulai memasukkan fungsionalitas D2D dalam jaringan seluler mereka. Ini sebagian besar karena mode komunikasi ini hanya dibayangkan di masa lalu sebagai alat untuk mengurangi biaya penyediaan layanan lokal, yang fraksional menurut

statistik pasar operator saat ini^[66]. Namun, konsep ini diperkirakan akan berubah seperti yang disajikan oleh beberapa kasus penggunaan di subbagian ini.

- Variasi dalam distribusi pengguna menyebabkan beban lalu lintas yang tidak homogen antara jaringan yang memiliki ukuran cakupan yang berbeda di HetNet. 5G akan memiliki HetNets yang berlimpah; dengan demikian, komunikasi D2D dapat digunakan seperti yang diusulkan dalam^[67] untuk mengatasi ketidakhomogenan ini.
- Komunikasi D2D akan meningkatkan lalu lintas jaringan sosial seluler dan pada gilirannya mendorong pendapatan. Dalam^[51], penulis telah menunjukkan bahwa pencocokan profil umum (CPM) adalah aplikasi utama jaringan sosial D2D seluler. CPM mengacu pada skenario di mana sekelompok pengguna ponsel cerdas bertemu di wilayah kecil (seperti ruang dansa) dan pengguna ini tertarik untuk mengidentifikasi atribut umum di antara mereka dari profil pribadi mereka secara efisien melalui komunikasi jarak pendek (seperti D2D). Misalnya, sekelompok orang asing mungkin ingin menemukan hobi, teman, atau negara yang sama yang pernah mereka kunjungi sebelumnya, dan sekelompok siswa mungkin ingin mengetahui kursus umum yang telah mereka ambil.
- Pengkodean lapisan fisik dapat ditambahkan ke komunikasi D2D untuk meningkatkan efisiensi spektral dan energi jaringan^[68].
- Dalam^[52], penulis telah mengeksplorasi komunikasi D2D untuk komputasi awan bergerak. Untuk skenario seperti itu, pertanyaannya adalah bagaimana pengguna dapat mendeteksi dan memanfaatkan sumber daya komputasi pada perangkat seluler lainnya. Penulis telah menyarankan bahwa pola mobilitas pengguna memiliki dampak signifikan pada kinerja cloud seluler.

Kesimpulannya, operator jaringan yang dikendalikan D2D (underlaid inband, overlay inband, dan controlled outband) harus memungkinkan operator untuk memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik dan menghasilkan lebih banyak keuntungan yang sesuai. Namun, untuk kasus direct path, operator jaringan akan berada dalam situasi ayam atau telur. Di satu sisi, mereka akan memiliki ruang untuk menawarkan lebih banyak layanan, di sisi lain mereka akan kehilangan pendapatan yang diperoleh dengan susah payah. Akhirnya, operator masih menghadapi beberapa tantangan dalam menyediakan solusi D2D yang dapat mengatasi dua tujuan yang bertentangan di atas secara bersamaan^[66].

12.16 Model SDO untuk Konektivitas Perangkat

Penting untuk dicatat bahwa tidak ada SDO pusat di tingkat Internasional yang menangani sebagian besar kegiatan standarisasi untuk smartphone. Misalnya, 3GPP, ETSI, dan OMA memainkan beberapa peran khusus, tetapi mereka tidak mengembangkan spesifikasi untuk catu daya dan prosesor yang telah dibahas dalam bab ini.

- 3GPP terutama melihat kemampuan terminal (seperti lingkungan eksekusi) dan mengembangkan spesifikasi antarmuka (logis dan fisik) dan untuk aplikasi kartu pintar (SIM).
- ETSI terutama membuat spesifikasi untuk platform kartu pintar di mana badan lain dapat mendasarkan aplikasi khusus sistem mereka untuk mencapai kompatibilitas antara semua aplikasi yang ada di kartu pintar.

- OMA (Open Mobile Alliance) adalah badan standar terkemuka dengan beberapa kelompok kerja dan komite yang mempelajari berbagai konsep dan masalah perangkat seluler. Fokus mereka adalah pada arsitektur, pengiriman pesan, pengiriman konten, manajemen perangkat, dan interoperabilitas layanan lokasi.

Untuk baterai, sejumlah organisasi terlibat dalam pengembangan standar seperti Battery Council Internasional, IEEE—SA, TIA, IEC, dan sebagainya. Untuk prosesor, Asosiasi Semikonduktor regional memainkan peran paling penting melalui ITRS. ITRS (Peta Jalan Teknologi Internasional untuk Semikonduktor) adalah seperangkat dokumen yang dihasilkan oleh sekelompok pakar industri semikonduktor. Para ahli ini mewakili organisasi sponsor yang mencakup Asosiasi Industri Semikonduktor AS, Eropa, Jepang, Korea Selatan, dan Taiwan.

12.17 Kesimpulan

Bab ini memberikan pandangan mendalam tentang pemenuhan persyaratan utama untuk perangkat 5G. Baterai, prosesor, dan antena adalah tiga topik utama yang dibahas. Berbagai pilihan dijelaskan untuk meningkatkan masa pakai baterai termasuk polimer lithium yang merupakan alternatif yang menjanjikan untuk baterai lithium ion. Baterai udara logam juga disarankan, namun, ini menghadapi sejumlah tantangan seperti yang dijelaskan. Selanjutnya, kemajuan dalam teknologi proses manufaktur, teknologi multicore untuk fungsi khusus, dan kecepatan clock yang lebih baik dihadirkan untuk prosesor seluler. Teknik MIMO besar-besaran juga disorot untuk menentukan jumlah antena yang optimal untuk stasiun pangkalan dan perangkat. Komunikasi D2D juga diselidiki untuk membantu industri dalam memenuhi permintaan data di masa depan. Bab ini diakhiri dengan memberikan catatan tentang peran SDO di berbagai domain perangkat yang terhubung.

12.18 Pertanyaan

1. Apa tujuan utama unit RF smartphone?
2. Apa perbedaan utama antara baterai Li ion dan baterai Li poli?
3. Jelaskan dua teknik untuk meningkatkan kinerja baterai?
4. Berapa daya tahan baterai Li ion yang memiliki kapasitas 220 mAh dan tingkat debit 4 mA?
5. Apa manfaat utama dari prosesor multicore?
6. Jelaskan perbedaan antara baseband dan prosesor aplikasi?
7. Definisikan MIMO dan Massive MIMO?
8. Apa tantangan utama yang terkait dengan FD-MIMO?
9. Apa itu komunikasi D2D dan daftar beberapa kasus penggunaan untuk itu?
10. Tentukan jenis D2D inband dan outband D2D?
11. Apa saja Layanan Kedekatan seperti yang didefinisikan oleh 3GPP?

12.19 Referensi

1. ITU-R 2015. Recommendation ITU-R M.2083-0 IMT Vision—Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond.
2. Asif, S. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.

3. Lawrence, H., Levine, R. and Kikta, R. 2002. 3G Wireless Demystified. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
4. Electopedia 2005. <http://www.mpoweruk.com/life.htm>.
5. MIT School of Engineering 2012. <http://engineering.mit.edu/ask/how-does-battery-work>
6. Albright, G., Edie, J. and Al-Hallaj, S. 2012. A Comparison of Lead-Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications, AllCell Technologies LLC, Illinois, USA.
7. Yahoo 2008. What's the Difference between Lithium-Ion and Lithium-Polymer Batteries? <http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20080504170740AAevnfl>.
8. Wang, U. 2013. A Better Way to Build a Lithium Ion Battery? Bloomberg Businessweek Technology. <http://www.businessweek.com/articles/2013-04-30/a-better-anode-gives-batteries-a-boost>.
9. SiNode Systems 2013. Superior Anode Technology for Next Generation Li-Ion batteries. <http://sinodesystems.com/>
10. Godoy, P.A. et al. 2009. Asymmetric Multilevel Outphasing Architecture for Multi-Standard Transmitters. 2009 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, Boston, MA, USA, June 7–9, 2009, pp. 237–240.
11. Breeden, II, J. 2012. Emerging Techn Smart-Phone Battery Life could Double—Without Better Batteries. GCN. <http://gcn.com/blogs/emerging-tech/2012/11/smart-phone-battery-life-could-double-withoutbetter-batteries.aspx>.
12. Phys.org 2012. Ex-MIT Company Rethinks Power-Feasting Amplifiers. <http://phys.org/news/2012-11ex-mit-company-rethinks-power-feasting-amplifiers.html>
13. Chen, Y.J. et al. 2007. Multilevel LINC System Design for Wireless Transmitters. 2007 Int'l Symposium on VLSI-DAT, Hsinchu, Taiwan, April 25–27, 2007, pp. 1–4.
14. Fletcher, S. 2011. Bottled Lightning: Superbatteries, Electric Cars, and the New Lithium Economy. Hill and Wang, New York, USA.
15. Whittingam, M.S. 2012. History, Evolution, and Future Status of Energy Storage. Proceedings of the IEEE v.100 1518-1534.
16. NPC 2012. Topic Paper #17. Advanced batteries: Beyond Li-Ion. Working Document of the NPC Future Transportation Study.
17. Linden, D. and Reddy, T.B. 2002. Handbook of Batteries. McGraw-Hill, USA.
18. Argonne National Laboratory 2013. Researchers Tackle New Lithium Battery Challenge. Nature Communications. <http://www.rdmag.com/news/2013/09/researchers-tackle-new-lithium-battery-challenge>
19. Cleantechnica 2013. Zinc-Air Battery Company Claims Novel Electrolyte will Do the Trick (CT exclusive). <http://cleantechnica.com/2013/09/09/zinc-air-battery-company-claims-novel-electrolyte-will-do-the-trickct-exclusive/>
20. Energizer 2009. Rechargeable Batteries and Chargers: Frequently Asked Questions. http://data.energizer.com/PDFs/Rechargeable_FAQ.pdf
21. Smartphone Processors 101: A Quick Guide 2013. http://www.phones4u.co.uk/community/smart_phone_processors-101-a-quick-guide/
22. Tom's Hardware 2007, Semiconductor Production 101. <http://www.tomshardware.com/reviews/semiconductor-production-101,1590.html>

23. Gantt, C. 2011. ARM will Boost Mobile Processor Clock Speeds to the 3 GHz Range by 2014. <http://www.tweaktown.com/news/31644/arm-will-boost-mobile-processor-clock-speeds-to-the-3ghz-range-by-2014/index.html>
24. Yahoo 2011. <http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20110413115614AALo3XX>
25. Georgescu, D. 2003. Evolution of Mobile Processors. 2003 IEEE Conference on Communications, Computers and Signal Processing, Vol. 2, Victoria, Canada, August 28–30, 2003, pp. 638–641.
26. Khoushanfar, F. et al. 2000. Processors for Mobile Applications. 2000 IEEE International Conference on Computer Design, Austin, USA, September 17–20, 2000, pp. 603–608.
27. TuRner, C. 2011. New Cortex™ – R Processors for LTE and 4G Mobile Broadband. ARM Ltd, Cambridge, UK.
28. CellularNews 2013. Samsung Working on More Powerful Smartphone Chip. <http://www.cellular-news.com/story/Handsets/62485.php>
29. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/>
30. Goodacre, J. 2011. The Evolution of the Microprocessor—From Single CPUs to Many CoreDevices.newelectronics.<http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/the-evolution-of-the-microprocessor-from-single-cpus-to-many-core-devices/35556/>
31. Chitkara, R. 2012. Mobile Technologies Index, Application Processors: Driving the Next Wave of Innovation.
32. Maidment, D., TuRner, C. and Bergman, E. 2012. Designing an Efficient LTE-Advanced Modem Architecture with ARM® Cortex™-R7 MPCore™ and CEVA XC4000 Processors. ARM Limited and CEVA, Cambridge, UK and Hoofddorp, Netherlands.
33. F ITC hard, K. 2013. T-Mobile’s Plan to Supercharge LTE: A Whole Lot of Antennas. <http://gigaom.com/2013/06/04/t-mobiles-plan-to-supercharge-lte-a-whole-lot-of-antennas/>
34. Marzetta, T.L. 2010. Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas. IEEE Transactions on Wireless Communications, 9(11):3590–3600.
35. Marzetta, T.L. and Ashikhmin, A. 2010. Beyond LTE: Hundreds of Base Station Antennas!
36. Hoydis, J., Brink, S.T. and Debbah, M. 2011. Massive MIMO: How Many Antennas Do We Need? Cornell University, arXiv:1107.1709v2 [cs.IT], New York, USA
37. Marzetta, T.L., Larsson G.E. and Ngo, Q.H. 2011. Uplink Power Efficiency of Multiuser MIMO with Very Large Antenna Arrays. 49th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton House, Monticello, Illinois, USA, September 28–30, 2011, pp. 1272–1279.
38. Rysavy Research/5G Americas 2016. Mobile Broadband Transformation LTE to 5G.
39. TR 36.897 (V13.0.0) 2015. Study on Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) Multiple Input Multiple Output (MIMO) for LTE. Technical Report (Release 13), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, June.
40. NuRAN Wireless/Nutaq 2015. Massive MIMO. <https://www.nutaq.com/blog/massive-mimo-%E2%80%93-part-1-introduction-theory-implementation>

41. Asadi, A., Wang, Q. and Mancuso, V. 2014. A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks. Cornell University, arXiv: 1310.0720v6 [cs.GT], New York, USA.
42. Du, J. et al. 2012. A Compressed HARQ Feedback for Device-to-Device Multicast Communications. IEEE Vehicular Technology Conference, Quebec City, Quebec, Canada, September 3–6, 2012, pp. 1–5.
43. Zhou, B., Hu, H., Huang, S-Q. and Chen, H-H. 2013. Intra-Cluster Device-to-Device Relay Algorithm with Optimal Resource Utilization. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 62(5):2315–2326.
44. Lei, L., Zhong, Z., Lin, C. and Shen, X. 2012. Operator Controlled Device-to-Device Communications in LTE-advanced Networks. IEEE Wireless Communications, 19(3):96–104
45. Doppler, K., Rinne, M., Wijting, C., Ribeiro, C. and Hugl, K. 2009. Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks. IEEE Communications Magazine, 47(12):42–49.
46. Golrezaei, N., Molisch, A.F. and Dimakis, A.G. 2012. Base-Station Assisted Device-to-Device Communications for High-Throughput Wireless Video Networks. IEEE Internastional Conference on Communications, Ottawa, Canada, June 10–15, 2012, pp. 7077–7081.
47. Golrezaei, N., Molisch, A.F. and Dimakis, A.G. 2012. Device-to-Device Collaboration Through Distributed Storage. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Anaheim, CA, USA, December 3–7, 2012, pp. 2397–2402.
48. Li, J.C., Lei, M. and Gao, F. 2012. Device-to-Device (D2D) Communication in MU-MIMO Cellular Networks. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Anaheim, CA, USA, December 3–7, 2012, pp. 3583–3587.
49. Pratas, N.K. and Popovski, P. 2013. Low-Rate Machine-Type Communication via Wireless Device-to-Device (D2D) Links. Cornell University, arXiv:1305.6783, New York, USA.
50. Bao, X., Lee, U., Rimal, I. and Choudhury, R.R. 2010. Data Spotting: Offloading Cellular Traffic via Managed Device-to-Device data Transfer at Data Spots. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 14(3):37–39.
51. Chen, Y-A., Lin, W-H. and Tseng, Y-C. 2014. On Common Profile Matching Among Multiparty Users in Mobile D2D Social Networks. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Istanbul, Turkey, April 6–9, 2014.
52. Li, Y., Sun L. and Wang, W. Exploring device-to-device communication for mobile cloud computing. IEEE Internastional Conference on Communications, Sydney, NSW, Australia, June 10–14, 2014.
53. Wu, X. et al. 2010. FlashLinQ: A Synchronous Distributed Scheduler for Peer-to-Peer ad Hoc Networks. 48th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton House, Monticello, Illinois, USA, Sep 29—Oct 01, 2010, pp. 514–521.
54. Alliance, W. 2010. Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Specification v1.1. Wi-Fi Alliance Specification, vol. 1, pp. 1–159.
55. Alliance, Z. 2006. Zigbee Specification. Document 053474r06, Version, vol. 1.
56. Bluetooth, S. 2001. Bluetooth Specification Version 1.1. <http://www.bluetooth.com>.

57. Asadi, A., Wang, Q. and Mancuso, V. 2013. A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks. Cornell University, arXiv:1310.0720v2 [cs.GT], New York, USA
58. Lin, Y.-D. and Hsu, Y.-C. 2000. Multihop Cellular: A New Architecture for Wireless Communications. IEEE INFOCOM Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, March 26–30, 2000, pp. 1273–1282.
59. TR 22.803 (V12.2.0) 2013. Feasibility Study for Proximity Services (ProSe). Technical Report (Release 12), Technical Specification Services and System Aspects, 3GPP, June.
60. TR 23.703 (V12.2.0) 2014. Study on Architecture Enhancements to Support Proximity-Based Services (ProSe). Technical Report (Release 12), Technical Specification Services and System Aspects, 3GPP, February.
61. Koskela, T. et al. 2010. Device-to-Device Communication in Cellular Network—Performance Analysis of Optimum and Practical Communication Mode Selection. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Sydney, NSW, April 18–21, 2010, pp. 1–6.
62. Das, D. and Ramaswamy, V. 2009. Co-Channel Femtocell-Macrocell Deployments-Access Control. IEEE 70th Vehicular Technology Conference Fall (VTC '09), Anchorage, Alaska, USA, September 20–23, 2009, pp. 1–6.
63. Liu, P. et al. 2012. Distributed Cooperative Admission and Power Control for Device-to-Device Links with QoS Protection in Cognitive Heterogeneous Network. 7th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM '12), Kunming, China, August 8–10, 2012, pp. 712–716.
64. Chandrasekhar, V., Andrews, J.G. and Gatherer, A. 2008. Femtocell Networks: A Survey. IEEE Communications Magazine, 46(9):59–67.
65. He, Y., Wang, F. and Wu, J. 2014. Resource Management for Device-to-Device Communications in Heterogeneous Networks using Stackelberg Game. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation 2014, 1–10 <http://dx.doi.org/10.1155/2014/395731>.
66. Lei, L. and Zhong, Z. 2012. Operator Controlled Device-to-Device Communications in LTE-Advanced Networks. IEEE Wireless Communications, 19(3):96–104.
67. Liu, J. et al. 2014. An Efficient Traffic Detouring Method by Using Device-to-Device Communication Technologies in Heterogeneous Network. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2014), Istanbul, Turkey, April 6–9, 2014, pp: Not Available.
68. Fodor, G., Pradini, A. and Gattami, A. On Applying Network Coding in Network Assisted Device-to-Device Communications. 20th European Wireless Conference, Barcelona, Spain, May 14–16, 2014.

BAB 13

APLIKASI SELULER

Aplikasi dan platform untuk mendukungnya sangat penting untuk keberhasilan industri seluler/broadband. 5G mungkin membawa aplikasi pembunuh, namun hingga saat itu, fokusnya masih pada peningkatan layanan bernilai tambah.

Tampilan VAS (Value Added Service) yang mencakup layanan SMS dan MMS kemarin sudah tidak berlaku lagi. Aplikasi seperti m-money, mHealth, dan IoT (Internet of Things) telah menjadi atau akan menjadi segmen penghasil pendapatan penting dari industri seluler/broadband. Layanan ini dapat disebut VAS tingkat lanjut. Konsep yang lebih baru, IoT, telah muncul dan telah menjadi salah satu kata kunci industri yang mungkin akan membentuk masa depan Internet.

Jutaan aplikasi saat ini tersedia mulai dari sekadar mengambil foto hingga melakukan transaksi keuangan. Inti utama dari bab ini adalah pada tiga VAS tingkat lanjut yaitu, layanan keuangan seluler, kesehatan seluler, dan IoT. Ini memberikan rincian tentang standarisasi, aplikasi khas, dan tantangan dari ketiga layanan ini⁸⁰. Sebelum masuk ke layanan ini, informasi latar belakang tentang SDP, IMS, dan komputasi awan disediakan.

13.1 Platform Pengiriman

Melihat kembali sejarah penyelenggaraan layanan telekomunikasi, dapat dilihat bahwa perjalanannya dimulai dengan konsep feature node yang kemudian menjadi intelligent network. Jaringan cerdas didefinisikan oleh ITU-T pada 1980-an. SCE (Lingkungan Pembuatan Layanan) dibuat dalam jaringan cerdas yang memungkinkan operator membuat layanan komunikasi baru secara mandiri tanpa harus mengubahnya sebagai gantinya. Dari sana, industri telah berjalan jauh dan telah mengembangkan berbagai SDP dan IMS. SDP dan IMS telah dikembangkan dengan tujuan yang sama, yaitu untuk mengembangkan dan memberikan semua jenis layanan tingkat aplikasi melalui mekanisme pengiriman standar^[2].

Dalam banyak hal, SDP dapat dilihat sebagai pendahulu IMS. SDP muncul dari kebutuhan operator seluler untuk memberikan layanan 2G lebih cepat dan hemat biaya di seluruh infrastruktur kompleks yang terdiri dari elemen jaringan berpemilik dan perangkat pengguna akhir, sementara IMS pertama kali distandarisasi oleh 3GPP pada tahun 2002 dalam Rilis-5 untuk memenuhi kebutuhan operator GSM/UMTS yang ingin menyebarkan aplikasi IP di jaringan 3G baru^[1-3].

Bagian ini akan secara singkat menyentuh dua topik ini bersama dengan komputasi awan dari perspektif telekomunikasi dan bukan TI.

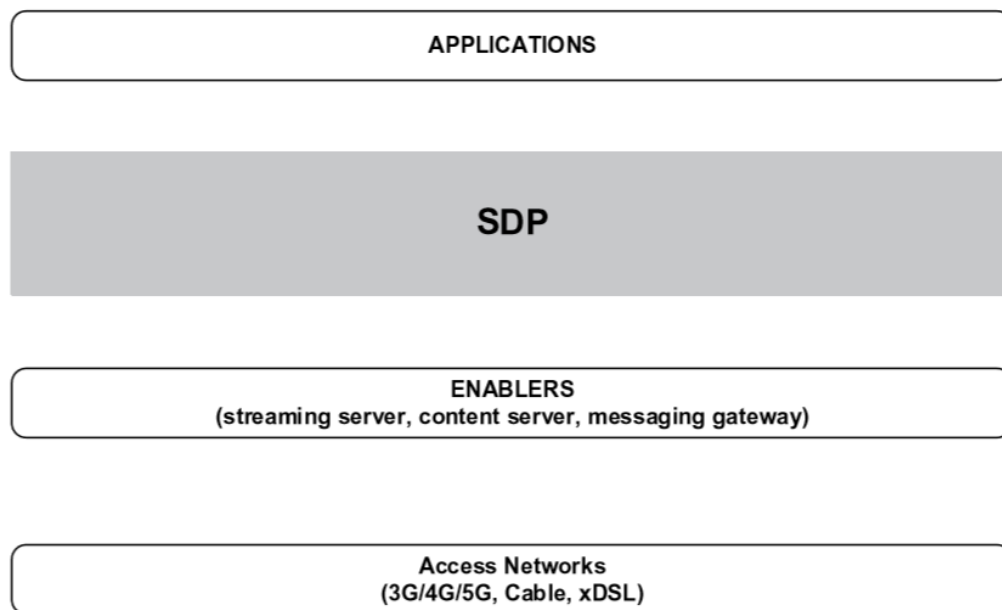
13.2 SDP

SDP adalah arsitektur pengiriman layanan (infrastruktur) yang memungkinkan mendefinisikan, mengembangkan, dan menyebarkan komunikasi circuit-sw ITC hed, packet-sw ITC hed, dan layanan konten dan siaran^[2-4]. Dalam jaringan, ia diapit di antara enabler (elemen jaringan

⁸⁰ Untuk informasi rinci tentang VAS lanjutan lainnya seperti Mobile TV, Machine-to-Machine, dan Layanan berbasis Lokasi, pembaca dapat merujuk ke [1].

inti seperti gateway pesan, server konten, dll.) dan aplikasi yang mendukung jaringan akses kabel dan nirkabel (Gambar 13.1).

Munculnya toko aplikasi untuk membuat, menghosting, dan mengirimkan aplikasi untuk perangkat seperti iPhone Apple dan smartphone berbasis Android Google, telah membuat SDP menjadi platform yang memungkinkan bagi Penyedia Layanan Komunikasi (CSP) untuk menghasilkan pendapatan dari layanan data. Dengan menggunakan SDP, CSP mengekspos aset jaringan mereka ke komunitas pengembangan internal dan eksternal, di mana mereka dapat mengelola siklus hidup ribuan aplikasi. Tujuan bisnis dari penerapan SDP adalah untuk memungkinkan pengembangan dan penyebaran layanan multimedia terkonvergensi yang cepat, mulai dari layanan telepon POTS (layanan telepon lama biasa) dasar hingga konferensi audio/video yang kompleks untuk game multipemain ^[5].



Gambar 13.1 SDP dalam jaringan.

Namun, tidak ada definisi standar tunggal SDP dan berbagai badan standar telah memberikan spesifikasi pada potongan-potongan teka-teki. OSA (Open Service Access) Parlay, OMA Service Environment (OSE), dan TMF (TeleManagement Forum) Service Delivery Framework (SDF) adalah organisasi utama yang mengerjakan SDP. OSA Parlay adalah bagian dari 3GPP IMS dan mengekspos enabler seperti kehadiran dan kontrol panggilan ke aplikasi. OSE adalah arsitektur yang menyediakan struktur umum dan kumpulan aturan untuk menentukan enabler, misalnya, kehadiran, lokasi, dan sebagainya. Definisi TMF SDF (Service Delivery Framework) memberikan terminologi dan konsep yang diperlukan untuk merujuk berbagai komponen yang terlibat, seperti aplikasi dan enabler, eksposur jaringan dan layanan, dan orkestrasi. TMF menggunakan ini dalam definisi proses dan entitas yang diperlukan untuk mengelola komponen SDF. Dan, karena tidak ada konsensus, operator telah menerapkan solusi khusus vendor untuk memenuhi kebutuhan mereka ^[2-5].

13.2.1 Arsitektur SDP

Karena tidak adanya arsitektur standar tunggal, masing-masing produsen telah menggunakan pengetahuan dan keahliannya sendiri dalam pengembangan platform SDP. Namun, dapat dikatakan bahwa SDP terdiri dari lima blok utama, yaitu lingkungan pembuatan layanan,

lingkungan eksekusi layanan, lingkungan arsitektur berorientasi layanan, Gateway OSS/BSS, dan fungsi dukungan layanan umum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.2 [2,4, 6].

SCE: SCE digunakan untuk membuat layanan baru dengan cepat dan meningkatkan serta menyesuaikan layanan yang ada. Antarmuka (biasanya grafis) ini menawarkan pengembang cara mudah untuk mengidentifikasi dan menggabungkan blok pembangun kode perangkat lunak yang telah ditentukan sebelumnya yang diperlukan untuk pembuatan layanan baru.

Service Execution Environment (SEE): SEE digunakan untuk menjalankan layanan yang dikembangkan di SCE. Seiring dengan SCE, SEE memungkinkan pengembangan dan penyebaran aplikasi skala komersial yang cepat.

Lingkungan Service Oriented Architecture (SOA): SOA adalah evolusi dari mendistribusikan komputasi dan pemrograman modular yang memungkinkan pembuatan dan pelaksanaan proses bisnis. Tujuan SOA adalah untuk mengurangi biaya pengembangan aplikasi baru hingga hampir nol. Prinsip-prinsip SOA penting untuk keberhasilan implementasi SDP karena ini memungkinkan logika layanan yang kompleks dapat dengan mudah ditransfer ke seluruh perangkat dan antarmuka. Menggunakan SOA dan API terbuka (antarmuka pemrograman aplikasi), SDP memudahkan proses pengintegrasian perangkat baru ke dalam sistem.

OSS/BSS Gateway: Gateway menyediakan akses ke sistem OSS/BSS penyedia layanan. Integrasi dengan sistem OSS dan BSS sangat penting untuk operasi penyediaan, penagihan, dan pemantauan. Integrasi ini juga penting untuk merealokasi sumber daya jaringan secara instan jika terjadi kegagalan perangkat keras. Misalnya, setelah pelanggan memilih layanan baru, fungsionalitas penyediaan menambahkan statistik penggunaan pelanggan tersebut ke tampilan manajemen seluruh sistem penyedia layanan dan memulai penagihan yang diperlukan.

Fungsi Dukungan Layanan Umum (Enabler): Ini adalah elemen perangkat lunak dasar yang digunakan untuk membangun layanan. Ini dapat mencakup portal online, pengisian daya online, kehadiran dan lokasi, manajemen identitas, manajemen perangkat, dan sebagainya. SCE menyajikan enabler kepada pengembang dalam format visual yang tidak rumit dan biasanya. Ini membuatnya mudah untuk mengembangkan layanan tanpa memerlukan keahlian utama dari kode yang mendasarinya.

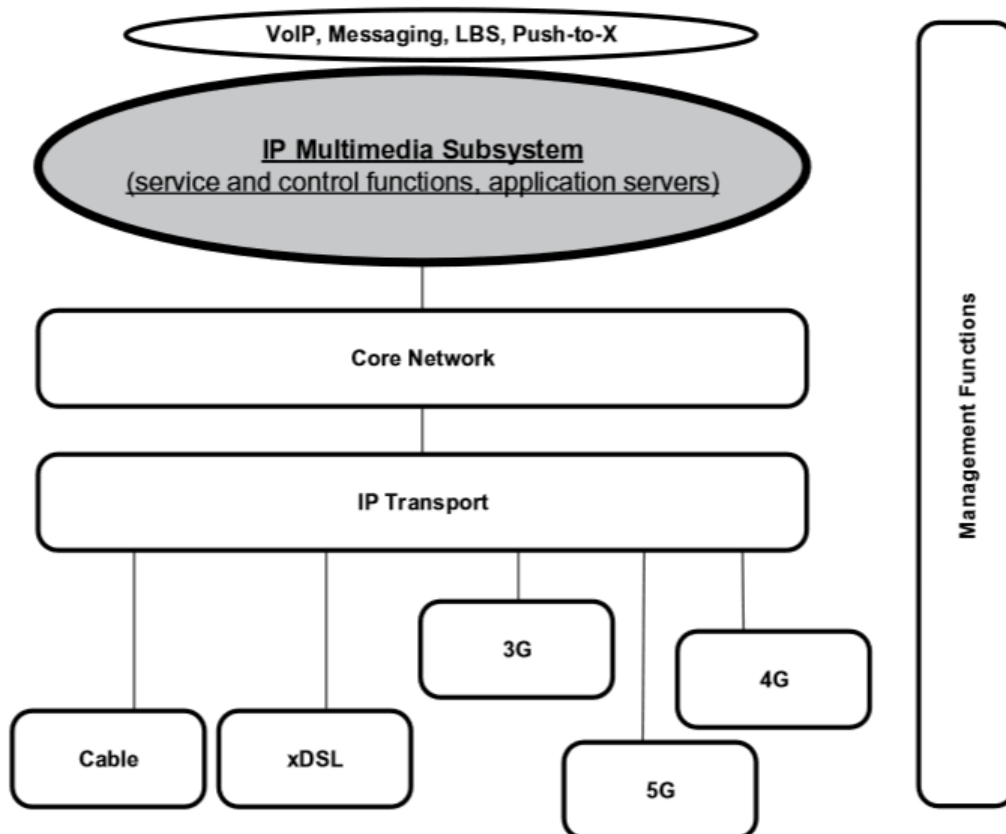


Gambar 13.2 Diagram blok arsitektur SDP.

13.3 IMS

IMS mendefinisikan kerangka kerja standar untuk penyebaran aplikasi dan layanan berbasis IP generasi berikutnya. SDP dapat dianggap sebagai pendahulu IMS. IMS dirancang untuk menjadi akses independen sehingga layanan dapat diberikan melalui konektivitas IP di seluruh jaringan kabel dan nirkabel. IMS tidak bergantung pada teknologi akses sehingga dapat mendukung kabel, DSL, dan sistem nirkabel 3G, 4G, dan 5G masa depan (Gambar 13.3).

IMS merupakan sistem persinyalan yang dapat digunakan untuk menyediakan berbagai layanan. Ini hanya mengimplementasikan prosedur persinyalan dan fungsi umum aplikasi, tetapi tidak menawarkan layanan. Menggunakan IETF SIP untuk membangun, mengakhiri, dan memodifikasi sesi multimedia dalam jaringan IP. Ini mendukung migrasi aplikasi Internet (seperti VoIP, konferensi video, pesan, dll.) ke lingkungan seluler dan menawarkan kemampuan kontrol layanan yang ditingkatkan. Ini dilakukan dengan memiliki lapisan kontrol horizontal yang mengisolasi jaringan akses dari lapisan layanan. Layanan itu sendiri tidak perlu memiliki fungsi kontrol sendiri, karena fungsi ini disediakan oleh lapisan kontrol horizontal umum.



Gambar 13.3 Konsep IMS. (Dari Asif, S. 2011. Ekosistem Komunikasi Seluler Generasi Berikutnya: Manajemen Teknologi untuk Komunikasi Seluler. Wiley Inc., Inggris ^[1].)

13.3.1 Latar belakang sejarah

IMS awalnya dirancang oleh 3GPP sebagai bagian dari visinya untuk mengembangkan jaringan seluler di luar GSM. Formulasi aslinya (3GPP Rel-5) mewakili pendekatan untuk memberikan "layanan Internet" melalui GPRS. Visi ini kemudian ditambah oleh 3GPP dalam rilis berikutnya

dan juga digabungkan oleh 3GPP2 dan TISPAAN dalam aplikasi masing-masing untuk memasukkan jaringan selain GPRS, seperti WLAN, CDMA2000, dan fixed line.

Untuk menghindari fragmentasi spesifikasi IMS, diputuskan pada tahun 2007 bahwa 3GPP akan mengambil tanggung jawab keseluruhan dari IMS. 3GPP mulai mempertahankan satu set spesifikasi IMS yang umum mulai dari Release-9. Spesifikasi Rilis-9 dibekukan pada Desember 2009.

13.3.2 Arsitektur IMS

Pada level tinggi, terdapat tiga lapisan dalam arsitektur IMS, yaitu transport, session control, dan application. Model IMS berlapis memungkinkan setiap lapisan untuk digunakan secara independen dari lapisan lain, memberikan fleksibilitas yang dibutuhkan oleh jaringan generasi berikutnya ^[1].

- Lapisan transport (media) mengangkut aliran media antara pelanggan dan antara pelanggan dan media IMS (pengumuman) menghasilkan dan memproses fungsi.
- Sesi atau lapisan kontrol mengontrol akses ke layanan dan memberikan kontrol operator atas langganan dan layanan.
- Lapisan aplikasi terdiri dari server aplikasi (server kehadiran, server pesan, dll).

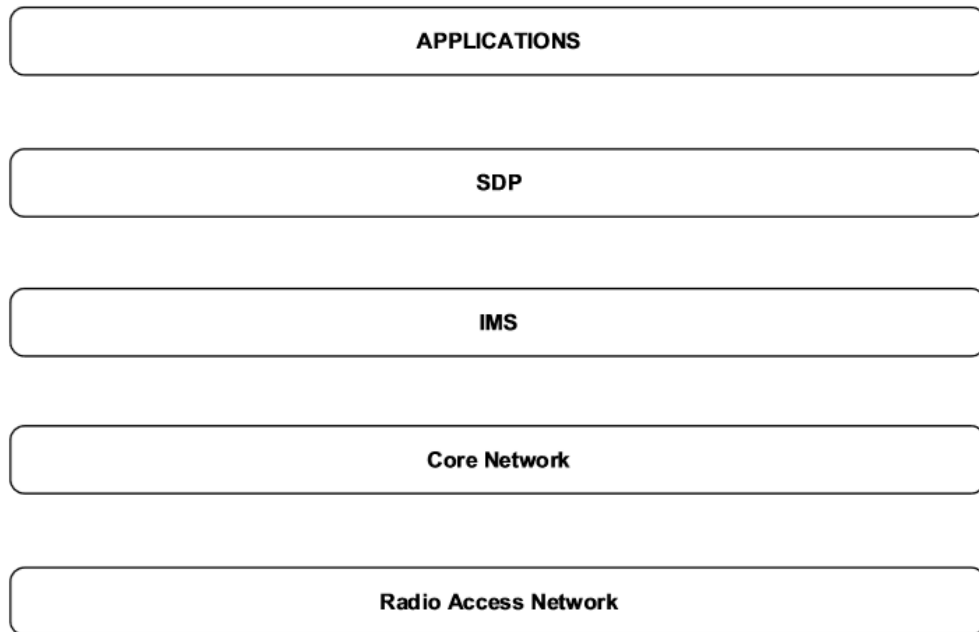
Entitas IMS utama termasuk entitas perutean pensinyalan yang disebut Common Session Control Function (CSCF), database, yaitu Home Subscriber Server (HSS) dan Subscription Locator Function (SLF), dan sejumlah fungsi pendukung dan antar-kerja seperti Media Resource Function (MRF), dan seterusnya ^[7-9]. Persyaratan layanan 3GPP IMS ditentukan dalam 3GPP TS 22.228 ^[10] sedangkan detail teknis ada di 3GPP TS 23.228 ^[11]. Rincian IMS dapat ditemukan di ^[1].

13.4 SDP, IMS, dan Komputasi Cloud

SDP dan IMS keduanya telah dikembangkan dengan tujuan bersama untuk membebaskan layanan tingkat aplikasi dari mekanisme pengiriman silo dan kotak khusus aplikasi (server). Dapat dikatakan bahwa SDP dan IMS saling melengkapi dimana SDP berperan sebagai service layer untuk membuat aplikasi yang berada di atas IMS seperti terlihat pada Gambar 13.4. SDP dan IMS keduanya merupakan komponen kunci untuk pengiriman aplikasi berbasis IP ^[2,3]. Detail tentang aspek ini dapat ditemukan di ^[12].

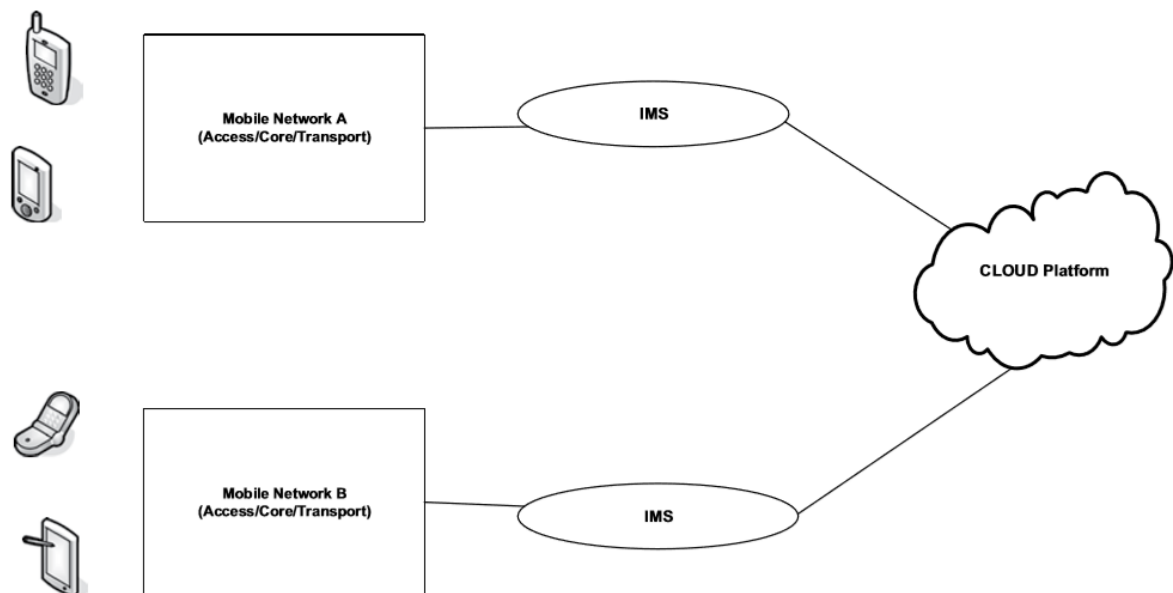
Karena layanan dan aplikasi bergerak di Cloud, penting untuk mengevaluasi potensinya untuk telekomunikasi dalam konteks ini. Secara sederhana, komputasi awan berarti menyimpan, mengakses, dan memproses data/aplikasi melalui server yang dihosting di Internet alih-alih menggunakan hard drive komputer pribadi. Komputasi awan memungkinkan kemampuan dan penawaran sesuai permintaan yang dapat mendukung pelanggan internal maupun eksternal. Komputasi awan tidak memiliki mekanisme kontrol pensinyalan, QoS, di luar upaya terbaik, dan mekanisme penagihan, yang dapat ditangani oleh IMS ^[13,14].

Komputasi awan juga perlu mengimbangi banyaknya smartphone di jaringan. Komputasi awan seluler cenderung memindahkan daya komputasi dan penyimpanan data dari smartphone ke awan, membawa aplikasi ke pengguna akhir dengan cara yang cepat.



Gambar 13.4 SDP dan IMS

Arsitektur umum komputasi awan seluler ditunjukkan pada Gambar 13.5 di mana beberapa jaringan seluler dapat memperoleh akses ke awan yang sama untuk mendapatkan aplikasi bagi penggunanya masing-masing. Berbagai aplikasi mobile seperti m-commerce, mHealth, dan m-gaming, dapat menggunakan keunggulan arsitektur ini. Misalnya, m-gaming dapat sepenuhnya membongkar mesin game, membutuhkan sumber daya komputasi yang besar (misalnya, rendering grafis) dari server di cloud, dan gamer hanya berinteraksi dengan antarmuka layar pada perangkat mereka ^[15].



Gambar 13.5 Arsitektur komputasi awan seluler.

13.5 Kemajuan Layanan Nilai Tambah

VAS adalah salah satu area di mana operator telekomunikasi terus mencari untuk membawa item baru ke meja untuk meningkatkan profitabilitas. VAS mencakup semuanya, mulai dari

pesan suara dasar dan layanan penerusan panggilan hingga keuangan seluler yang kompleks dan layanan berbasis lokasi dan cakrawala terus berkembang. Dengan 5G, pengalaman pengguna dan keandalan VAS yang ada termasuk yang kompleks pasti akan meningkat. Fokus bagian ini adalah pada dua layanan kompleks yang menghasilkan pendapatan utama, yaitu, uang seluler dan mHealth dan pada tren yang sedang berkembang yaitu IoT.

13.6 Layanan Finansial Mobile

Bentuk uang telah berevolusi beberapa kali dalam sejarah manusia mulai dari perdagangan barter, koin, kertas, plastik, dan sekarang telepon. Layanan keuangan seluler, m-money, dan m-commerce digunakan secara bergantian mengacu pada penggunaan perangkat seluler (terutama ponsel, iPad, dan tablet) untuk melakukan transaksi keuangan ^[16].

Istilah m-commerce pertama kali diciptakan pada tahun 1997 oleh Kevin Duffey. Juga, selama tahun 1997, percobaan pertama m-commerce berlangsung di Finlandia dengan pemasangan dua mesin penjual otomatis Coca Cola yang mendukung ponsel. Mesin penjual otomatis ini menerima pembayaran melalui SMS. Juga pada tahun 1997 layanan perbankan berbasis ponsel pertama diluncurkan oleh Merita Bank of Finland, juga menggunakan SMS ^[5].

13.7 Apakah Ada Kebutuhan?

Menurut Bank Dunia, inklusi keuangan berarti individu dan bisnis memiliki akses ke produk keuangan yang berguna dan terjangkau untuk memenuhi kebutuhan mereka ^[17].

Secara global, lebih dari 2 miliar orang dewasa tidak memiliki rekening bank formal, kebanyakan di negara berkembang. Di negara-negara berkembang, uang seluler mendapat lebih banyak perhatian karena kehadiran populasi yang tidak memiliki rekening bank yang lebih besar. Misalnya, sekitar 85% populasi orang dewasa tidak memiliki rekening bank. Berlawanan dengan ini, di negara maju, di mana kebanyakan orang sudah memiliki rekening bank, mobile banking memberi mereka saluran lain (bukan keharusan) untuk melakukan transaksi keuangan.

Di ekonomi miskin, orang lebih mengandalkan pengaturan moneter pembagian risiko informal dengan teman dan anggota keluarga daripada pengaturan formal dengan lembaga keuangan. Kendala yang tampak adalah—rekening bank terlalu mahal, bank terlalu jauh (terutama di daerah pedesaan), dokumentasi pribadi kurang, dan orang tidak mempercayai bank. Selain itu, karena bank dan bunga (keuntungan tunai, bunga pinjaman) berjalan beriringan, orang-orang di beberapa negara tidak ingin mengambil rute (perbankan) ini karena alasan agama.

Menyadari kebutuhan dan peluang tersebut, industri telekomunikasi dan perbankan telah memproduksi proyek-proyek konkrit sejak satu dekade terakhir. Menurut laporan tahunan GSMA tentang masalah ini, ada 277 layanan uang seluler langsung yang tersedia di 92 negara (termasuk dua pertiga negara berpenghasilan rendah dan menengah) pada tahun 2016 untuk membantu populasi yang tidak memiliki rekening bank ^[18].

13.8 Pembayaran Mobile

Pembayaran seluler mengacu pada transaksi P2P dan C2B/B2C (konsumen-ke-bisnis/bisnis-ke-konsumen) untuk barang dan jasa fisik yang dilakukan menggunakan telepon seluler. Ini juga mencakup transfer uang seluler P2P (baik domestik maupun Internasional) di mana pelanggan menggunakan perangkat seluler mereka untuk mengirim, menerima, atau mentransfer uang secara elektronik.

Ada dua jenis pembayaran seluler, yaitu pembayaran jarak jauh dan pembayaran jarak dekat. Gambar 13.6 menunjukkan berbagai bentuk layanan pembayaran seluler yang tersedia, dibedakan berdasarkan teknologi, lokasi, nilai transaksi, dan fungsi penanganan tunai. Pembayaran seluler jarak jauh dan pembayaran seluler jarak jauh berbeda berdasarkan lokasi perangkat seluler dan pedagang, serta sifat transaksi.

13.9 Pembayaran Jarak Jauh

Pembayaran seluler jarak jauh adalah pembayaran di mana konsumen menggunakan telepon seluler untuk melakukan transaksi tanpa berinteraksi langsung dengan merchant/POS fisik (point of sale). Pembayaran jarak jauh menggunakan SMS, Wireless Application Protocol (WAP), browser, atau aplikasi seluler. Ini ideal untuk transaksi P2P, B2C, dan C2B seperti pengiriman uang domestik, pembayaran tagihan, dan sebagainya ^[16,19,20].

13.10 Pembayaran jarak dekat

Salah satu jenis pembayaran jarak jauh yang banyak digunakan adalah transfer uang seluler. Transfer uang seluler terutama mengacu pada transfer uang dari satu orang ke orang lain menggunakan telepon seluler. Ini mengharuskan pengirim untuk memberikan uang bersama dengan biaya ke pusat pengiriman uang. Pusat pengiriman uang kemudian mentransfer uang secara elektronik melalui penyedia layanan telepon ke telepon penerima. Orang yang menerima uang mendapat pesan teks yang memberitahukan transfer. Penerima dapat pergi ke outlet berlisensi mana pun, termasuk toko ritel atau restoran, untuk mendapatkan uang. Penerima mungkin harus membayar biaya untuk mengumpulkan uang ^[20].

Model Bisnis: Model bisnis yang berbeda telah muncul untuk mentransfer uang seluler. Adopsi tergantung pada sejumlah faktor termasuk rezim peraturan, budaya, dan ukuran populasi. Tiga model yang lazim termasuk model bank centric, mobile operator-led (MNO-centric) atau non-bankbased, dan model berbasis kemitraan.

- Model MNO-centric lebih lazim di negara berkembang karena infrastruktur layanan keuangan mereka yang tidak memadai. Dalam model ini, MNO praktis adalah pemilik seluruh rantai nilai sedangkan bank hanya bertindak sebagai entitas penyimpanan dana. MNO mengelola jaringan distribusi/agen yang merupakan kekuatan utama mereka.
- Model bank-sentris mungkin cocok di negara-negara di mana terdapat tingkat infrastruktur dan peraturan keuangan yang baik untuk transaksi semacam itu. Bank adalah pemilik rantai nilai dan menyediakan layanan ini hanya sebagai saluran baru selain layanan yang sudah ada. MNO terutama bertanggung jawab atas penyediaan fasilitas telekomunikasi untuk transfer tersebut.
- Model kemitraan mungkin lazim di negara maju karena memerlukan integrasi yang erat antara telekomunikasi dan sistem/infrastruktur keuangan. Bank dan MNO keduanya berkontribusi pada rantai nilai di mana yang pertama menyediakan manajemen keuangan sementara yang kedua mengelola jaringan distribusi ^[20,22].

Contoh: Beberapa contoh sistem pengiriman uang bergerak di negara berkembang ditunjukkan pada Tabel 13.1.

Singkatnya, MNO pandai dalam kampanye branding, pengembangan produk, dan memiliki jaringan distribusi/agen yang luas. Bank, di sisi lain, pandai menjaga dana. Keberhasilan,

bagaimanapun, tergantung pada seberapa banyak telekomunikasi dan regulator perbankan memungkinkan MNO dan bank untuk mempraktikkan keahlian mereka.

Tabel 13.1 Contoh MFS dalam Ekonomi Darurat

M-money Application	Countries Implemented	Main Features	Technology
Easypaisa (bank-led model)	Pakistan	<ul style="list-style-type: none"> • Pay utility bills • Make P2P transfers • Increase air time credits • Save money • Pay for goods and services 	USSD, Internet
M-PESA (MNO-led model)	Kenya, Tanzania, South Africa and Afghanistan	<ul style="list-style-type: none"> • P2P transfers • Pay school fees • Pay electricity bills • Pay for goods and services 	STK, USSD
T-Cash	Haiti	<ul style="list-style-type: none"> • Receive salary • Make P2P transfers • Pay bills 	USSD
Globe GCash	Philippines	<ul style="list-style-type: none"> • Pay utility bills • Make P2P transfers • Use as a mobile wallet • Increase air time credits • Pay for goods and services 	SMS, STK
Airtel money	India and 14 African countries including Uganda, Tanzania, and Kenya	<ul style="list-style-type: none"> • Make P2P transfers • Pay for goods and services • Bill payments 	USSD
MTN mobile money (MNO-led model)	Africa, including Uganda, Ghana, Cameroon, Ivory Coast, Rwanda and Benin	<ul style="list-style-type: none"> • P2P transfers • Buy air time • Check balances • Pay utility bills 	STK, USSD
EKO	India	<ul style="list-style-type: none"> • Make P2P transfers • Bill payments • Loan payments 	USSD
WIZZIT	South Africa	<ul style="list-style-type: none"> • P2P transfers • Buy air time • Check balances • View statements • Pay electricity 	USSD

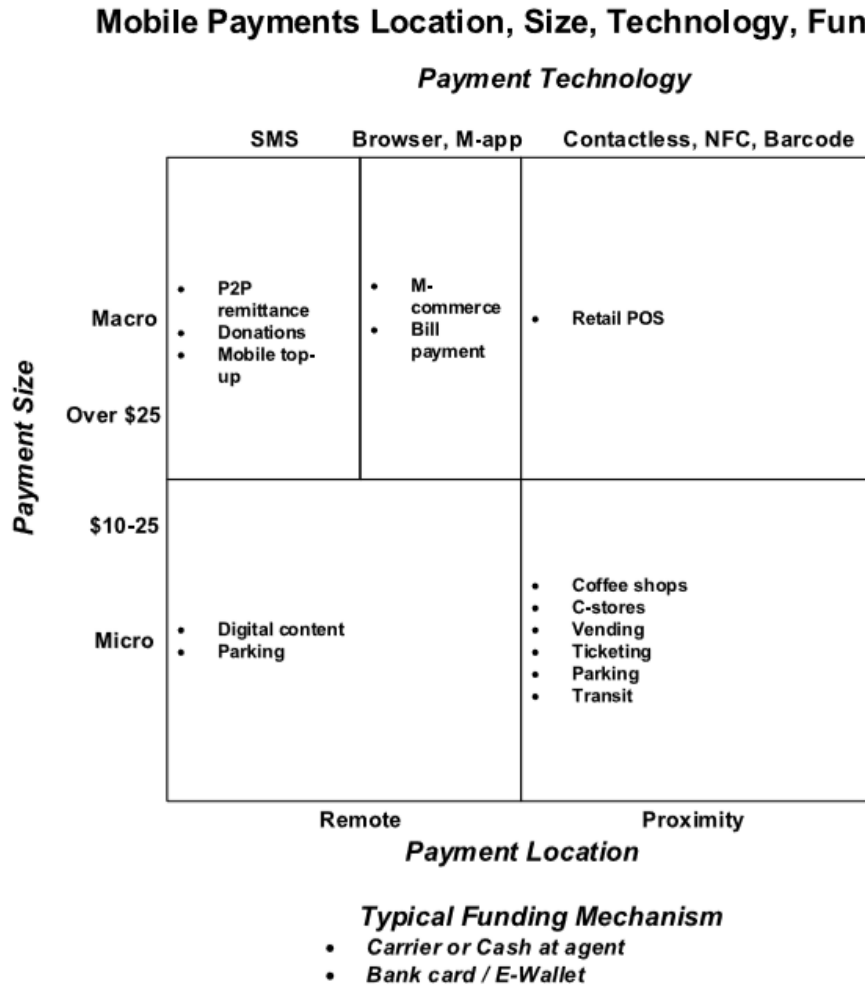
Sumber : ITU-T Technology Watch Report 2013. Revolusi Uang Seluler Bagian 2: Pengaktif Inklusi Keuangan ^[20].

13.10.1 Proximitas Pembayaran

Dengan proximitas pembayaran, perangkat seluler berinteraksi dengan POS fisik atau dengan perangkat POS seluler untuk mendapatkan informasi pembayaran konsumen untuk menyelesaikan transaksi. Mobile POS didefinisikan sebagai penggunaan perangkat seluler (smartphone, tablet) untuk pembayaran elektronik, manajemen inventaris, dan sebagainya. Ini didasarkan pada teknologi seperti kode batang, pembaca strip magnetik, atau perangkat berkemampuan NFC (komunikasi jarak dekat) tanpa kontak. Transaksi B2C/C2B adalah bentuk utama proximitas pembayaran di mana ponsel bertindak sebagai kartu debit/kredit atau terminal POS ^[16,20,21].

13.10.2 Jenis Proksimitas pembayaran

Beberapa opsi kunci untuk kedekatan disediakan di bagian ini ^[19,20].



Gambar 13.6 Spektrum pembayaran seluler. (Dari Dewan Pembayaran Aliansi Kartu Cerdas 2011. Pembayaran Seluler dan Lanskap NFC: Perspektif AS. Nomor Publikasi: PC-11002 ^[19].)

Dompot Seluler: Bentuk umum uang seluler adalah dompet seluler yang merupakan akun elektronik yang disimpan di perangkat seluler. Ini adalah aplikasi perangkat lunak yang dimuat ke ponsel untuk mengelola pembayaran yang dilakukan dari perangkat seluler. Ini adalah menu pada perangkat yang menyediakan akses ke berbagai instrumen pembayaran dan informasi akun pembayaran. Ini bisa didasarkan pada pendekatan tap and go (yaitu, pengguna mengetuk perangkat seluler untuk pembayaran alih-alih kartu kredit) atau pada teknologi nirkabel NFC built-in, dengan cara yang sama seperti kartu kredit. Ada banyak contoh dompet seluler termasuk Google Wallet yang berfungsi dengan perangkat berkemampuan NFC. YES-pay Internasional Limited dan YES-wallet.com Limited juga menawarkan platform pembayaran berbasis cloud menggunakan NFC. Namun, pendekatan ini memerlukan peningkatan perangkat lunak di terminal POS nirsentuh dan ketersediaan perangkat berkemampuan NFC yang murah, terutama di negara berkembang.

Stiker, microSD, dan pendekatan serupa (misalnya, key fobs, jam tangan): Ini memungkinkan konsumen mengirimkan kredensial pembayaran ke terminal POS tanpa kontak. Beberapa opsi ini seperti microSD dapat diintegrasikan dengan ponsel sedangkan fobs dapat ditempelkan ke handset. Solusi ini pada dasarnya identik dengan penggunaan kartu nirsentuh dalam hal

personalisasi data, keamanan, dan fungsionalitas. Sejumlah tantangan terkait, seperti stiker terutama dari satu penerbit yang memberikan lebih sedikit fleksibilitas kepada pengguna dan solusi yang tidak terintegrasi menambah kompleksitas pada rantai pasokan.

Bar Codes: Bar terkenal juga berlaku untuk pembayaran kedekatan. Kode batang 2D atau kode QR (respon cepat) ditampilkan di layar perangkat seluler dan dibaca oleh pemindai optik di POS atau sebaliknya. Starbucks menggunakan teknologi kode batang 2D di tokonya.

13.11 Player

MFS (Mobile Financial Service) sangat bergantung pada kolaborasi aktif antara beberapa pemain. Pemain kunci yang terlibat dalam m-commerce adalah lembaga keuangan (bank, perusahaan kartu kredit), operator jaringan seluler, pemerintah (legislatif dan regulator), manufaktur perangkat, dan pengguna akhir. Mereka tidak hanya memainkan peran penting, tetapi juga berkontribusi pada keseluruhan rantai nilai dan pada saat yang sama memiliki beberapa harapan dari MFS seperti yang ditunjukkan pada Tabel 13.2. Pada saat yang sama, penting untuk dicatat bahwa tidak ada standar global tunggal yang membahas proses pembayaran yang terkait dengan MFS ^[1].

13.12 Tantangan

MFS tidak datang tanpa beberapa tantangan kritis yang perlu dipahami dan diselesaikan [16,20]:

Keamanan: Terutama ada dua masalah keamanan utama - satu melibatkan pencurian keamanan di ujung pengguna dan yang lainnya adalah keamanan ujung-ke-ujung (konsumen ke jaringan ke penerima). Pencurian keamanan terutama diatasi dengan memiliki perangkat yang benar dan kata sandi yang benar untuk melakukan transaksi. Tidak adanya one piece tidak akan memungkinkan eksekusi transaksi. Masalah kedua agak rumit karena semua teknologi utama (SMS, STK, USSD, dan WAP) memiliki masalah keamanannya sendiri. WAP relatif lebih baik dan umum digunakan oleh bank yang menambahkan ponsel sebagai saluran lain bagi pengguna untuk mengakses akun mereka.

Interoperabilitas: Tantangan ini muncul ketika lebih dari satu MNO terlibat dalam eksekusi. Beberapa negara menjadikannya sebagai persyaratan wajib dan yang lainnya tidak. Misalnya, Bank of Ghana memerlukan model hubungan 'banyak-ke-banyak' di mana semua bank dan operator telekomunikasi akan berkolaborasi dan memungkinkan transaksi di seluruh jaringan mereka. Hasilnya, masing-masing MNO dengan layanan branchless banking telah mendaftarkan setidaknya tiga bank mitra.

Standardisasi: Tidak ada standar teknis umum seperti itu untuk MFS yang merupakan tantangan bagi semua pemain kunci yang terlibat. Arena MFS dipadati oleh puluhan forum dan SDO dan yang kurang adalah "kolaborasi aktif" di antara para pemain. Beberapa forum ini adalah yang digerakkan oleh operator (ETSI, UMTS), didorong oleh bank (forum Mobey), didorong oleh produsen perangkat (Transaksi Elektronik Seluler), didorong oleh teknologi (3GPP, OMA, ITU-T), dan didorong oleh lintas industri (Forum Pembayaran Seluler) .

Tabel 13.2 Player MFS (daftar tidak lengkap)

Players	Contributions	Expectations
End users (customers)	<ul style="list-style-type: none"> • Monetary support 	<ul style="list-style-type: none"> • Fast and secure transactions • Personalize service • Minimal learning curve • No hidden costs • Being able to pay “anywhere,” “anytime,” and in any currency
Merchant	<ul style="list-style-type: none"> • Merchandise support • Merchant base 	<ul style="list-style-type: none"> • Fast and secure transactions • Minimal investment cost • Real time status of transactions
Mobile network operator	<ul style="list-style-type: none"> • Customer base • MFS enabled network 	<ul style="list-style-type: none"> • Potential to add value to existing services • Increase customer loyalty • New revenue channel • Increase average revenue per user • Minimal investment cost
Financial institutions	<ul style="list-style-type: none"> • Customer base • Merchant base • Secure payment infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase customer loyalty • New revenue channel • Minimal investment cost
Device manufacturers	<ul style="list-style-type: none"> • MFS enabled devices 	<ul style="list-style-type: none"> • Open, interoperable, widely-used standards • Low cost of new technologies and features that need to be integrated
Franchisee	<ul style="list-style-type: none"> • Agent role/middleman 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase customer loyalty • Additional revenue channel
Government/regulator	<ul style="list-style-type: none"> • Legislations/policies • Monitoring infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> • Economic uplift for residents • Taxable income

Sumber: Asif, S. 2011. *Ekosistem Komunikasi Seluler Generasi Berikutnya: Manajemen Teknologi untuk Komunikasi Seluler*. Wiley Inc., Inggris^[1].

Regulasi: Uang seluler mencakup ruang regulasi telekomunikasi dan perbankan dan oleh karena itu memerlukan kemitraan dan kolaborasi antara kedua sektor untuk mengurangi risiko. Rezim regulasi berbeda dari satu negara ke negara lain dan ini merupakan tantangan tergantung pada model bisnis yang telah diadopsi. Di beberapa negara, rezim regulasi telekomunikasi mencegah operator seluler memasuki aktivitas non-telekomunikasi dan dengan demikian melarang mereka meluncurkan aktivitas MFS mereka sendiri. MNO dapat berada pada posisi yang kurang menguntungkan dibandingkan dengan bank dalam hal perpajakan pendapatan dan jasa keuangan. Di beberapa negara, pajak pertambahan nilai tidak dikenakan pada layanan keuangan seperti transfer orang ke orang yang dioperasikan oleh operator seluler, sedangkan pajak ini dapat berlaku untuk layanan telekomunikasi.

B ITC oin: Ini adalah fenomena yang dapat merevolusi MFS di masa depan jika diizinkan oleh kekuatan besar dunia dalam arti sebenarnya. Namun, B ITC oin pada dasarnya adalah mata uang yang tidak diatur tanpa bank sentral. Jadi, jika seseorang kehilangan telepon dan/atau kunci pribadi yang terkait dengan dompet B ITC oin, dia tidak hanya akan kehilangan mata uang sebenarnya (USD, GBP, dll.), tetapi juga B ITC oin.

13.13 mHealth

Mobile Health, lebih dikenal dengan mhealth, adalah istilah yang digunakan untuk praktik kedokteran dan kesehatan masyarakat yang didukung oleh perangkat seluler. Meskipun definisinya bervariasi, Observatorium Global Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mendefinisikan mHealth sebagai praktik medis dan kesehatan masyarakat yang didukung oleh

perangkat seluler, seperti ponsel, perangkat pemantauan pasien, asisten digital pribadi (PDA), dan perangkat nirkabel lainnya. WHO menganggap mHealth sebagai komponen dari eHealth. WHO mendefinisikan eHealth sebagai penggunaan ITC untuk kesehatan [27].

mHealth telah dimungkinkan karena peningkatan eksponensial dalam penggunaan perangkat seluler di seluruh dunia selama sepuluh tahun terakhir, terutama di negara-negara berkembang. Penurunan biaya perangkat seluler, pertumbuhan langganan, digitalisasi, dan kemajuan pesat dalam teknologi telah mendorong ledakan proyek percontohan dan program mHealth di seluruh dunia sejak tahun 2005 [28]. mHealth telah dimasukkan ke dalam bidang perawatan kesehatan dalam upaya untuk mengatasi berbagai tantangan, terutama di negara-negara berkembang, seperti kekurangan pekerja terampil, malpraktik karena dukun, kurangnya pelaporan tepat waktu untuk pengawasan dan diagnostik, masuknya obat palsu, kepatuhan pengobatan yang buruk, dan persediaan yang buruk dan manajemen rantai pasokan [29]. Sebagian besar negara anggota WHO memiliki setidaknya satu inisiatif mHealth di negara masing-masing.

13.14 Rantai Nilai mHealth

Rantai nilai mHealth melibatkan enam segmen utama masyarakat, yaitu vendor perangkat/chip, pengembang aplikasi, operator jaringan, profesional perawatan kesehatan, penyedia layanan kesehatan (termasuk sistem kesehatan pemerintah), dan pasien. Masing-masing segmen dan subsegmen ini memiliki kebutuhan yang berbeda, meskipun tumpang tindih, yang menghasilkan berbagai pendekatan dan model bisnis untuk mengekstraksi nilai pasar.

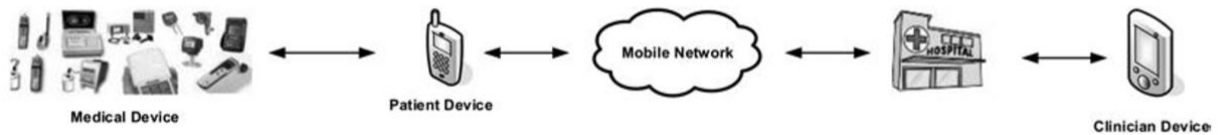
Gambar 13.8 menggambarkan rantai nilai mHealth end-to-end mulai dari perangkat pengumpul sampai ke dokter. Data pribadi dari instrumen seperti (termometer, pompa insulin, dll.) yang diaktifkan dengan teknologi WPAN apa pun seperti Bluetooth, ZigBee, dan sebagainya dapat mengirim data ke perangkat seluler. Perangkat seluler, menggunakan modul kesehatan tertanam dan aplikasi mHealth, kemudian mengirimkannya ke operator jaringan. Jaringan seluler yang memiliki server aplikasi mHealth meneruskan informasi ke dokter melalui sistem administrasi perawatan kesehatan. Dokter kemudian mengarahkan kembali respons yang sesuai kepada pasien melalui jaringan [30,31].

Lebih khusus, vendor chip memiliki peran mengembangkan modul tertanam untuk perangkat untuk mengaktifkan aplikasi terkait mHealth. Vendor infrastruktur bertanggung jawab untuk mengaktifkan komunikasi mHealth melalui sistem mereka. Pengembang aplikasi bertanggung jawab untuk membuat aplikasi mHealth yang dapat bekerja dengan perangkat/chipset, sistem, dan jaringan.

MNO memiliki peran sentral dalam keseluruhan rantai nilai. Kontribusi inti mereka adalah jangkauan jaringan broadband seluler 2G dan 3G/4G. Selain itu, mereka juga memiliki aset berharga lainnya termasuk pengalaman M2M, merek konsumen yang kuat, basis pelanggan yang besar, dan jejak distribusi ritel yang luas. MNO juga memiliki posisi terbaik untuk menyediakan layanan seperti otentikasi dan keamanan, serta penagihan dan layanan pelanggan atas nama organisasi perawatan kesehatan.

Profesional dan administrasi perawatan kesehatan (pemerintah dan sipil) berada di bawah tekanan konstan, mungkin lebih dari siapa pun dalam rantai nilai, untuk meningkatkan efektivitas sistem perawatan kesehatan dan pemberian perawatan kesehatan. Administrator rumah sakit cenderung paling peduli dengan memaksimalkan laba atas investasi untuk

teknologi perawatan kesehatan bergerak, sementara dokter dan pasien akan lebih mementingkan diagnosis cepat dan pemulihan yang sehat. Penanggung terletak di antara profesional kesehatan dan pasien dan fokus pada penyediaan perawatan yang paling hemat biaya dengan perawatan tindak lanjut yang minimal. Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) dan yayasan perawatan kesehatan juga memiliki tanggung jawab untuk memberikan layanan kesehatan ke desa-desa terpencil di negara-negara terbelakang dan berkembang.



Gambar 13.8 Rantai Nilai mHealth

13.15 Rancangan mHealth

GSMA telah mendefinisikan arsitektur referensi untuk perangkat mHealth yang terhubung di^[32]. Arsitektur ini terdiri dari empat blok bangunan, yaitu perangkat pasien mHealth (blok kuning), perangkat klinisi mHealth (blok biru), jaringan seluler (cloud abu-abu), dan platform mHealth (kotak biru muda). Di sisi paling kanan dari platform mHealth adalah dua elemen kunci dari sistem IT Healthcare (HIT), yaitu Personal Health Record (PHR) dan Electronic Health Record (EHR). Gambar 13.9 menunjukkan blok bangunan utama dan antarmuka dari arsitektur referensi representatif yang menggambarkan semua kemampuan utama jaringan seluler yang dapat mendukung solusi kesehatan seluler. Bagian ini memberikan beberapa kemampuan utama arsitektur ini dan untuk detailnya, pembaca dapat merujuk ke^[32].

Perangkat mHealth: Perangkat mHealth dapat berupa sensor dengan konektivitas seluler tertanam, perangkat yang terdiri dari satu atau lebih sensor kesehatan seluler yang terhubung ke Gateway kesehatan seluler yang menjalankan aplikasi mHealth (dengan konektivitas seluler) melalui antarmuka PAN, perangkat yang dirancang untuk terhubung melalui teknologi jarak pendek (misalnya, Bluetooth) ke ponsel, dan sebagainya. Selain itu, ada sejumlah antarmuka berbeda yang dapat digunakan oleh perangkat untuk berkomunikasi dengan platform mHealth. GSMA merekomendasikan bahwa antarmuka harus sesuai dengan standar pesan kesehatan yang diakui secara Internasional; misalnya, IEEE 11073, IHE PCD-01 atau DICOM⁸¹.

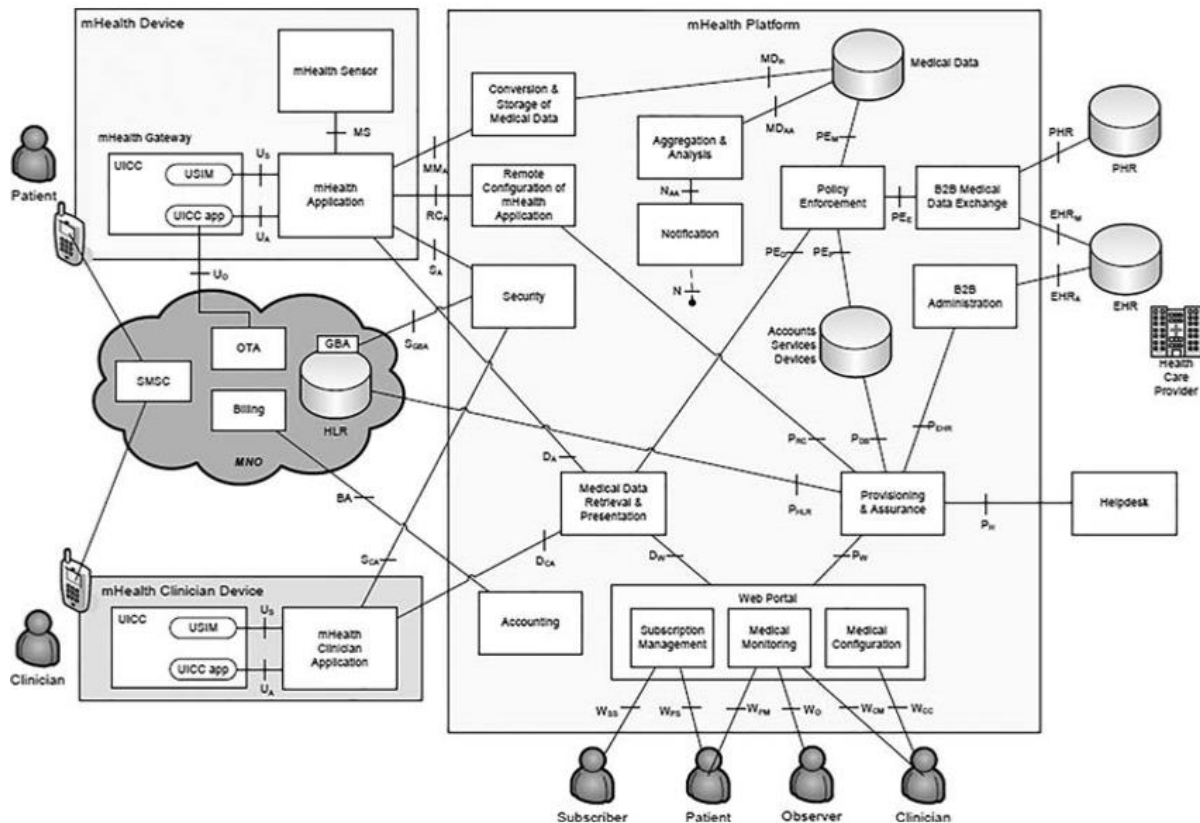
Perangkat Dokter: Perangkat dokter mHealth (berisi aplikasi klinisi mHealth) memungkinkan dokter untuk melihat data yang dikirim oleh perangkat pasien dan juga memungkinkan dokter untuk mengirim balasan. Ini kemungkinan merupakan smartphone atau tablet yang aman.

Jaringan Seluler: Jaringan seluler mengelola komunikasi antara pasien dan dokter. Ini mengelola langganan, penagihan, roaming, dan sebagainya, yang membantu dalam memberikan solusi mHealth.

mHealth Platform: Platform terdiri dari sejumlah blok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.9. Contohnya:

⁸¹ CEN ISO/IEEE 11073 Informatika kesehatan - Standar komunikasi perangkat medis/kesehatan memungkinkan komunikasi antara perangkat medis, perawatan kesehatan, dan kebugaran serta dengan sistem komputer eksternal. Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) adalah organisasi nirlaba yang berbasis di negara bagian Illinois, AS. Standar Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) menentukan banyak format berbeda untuk data gambar [5].

- Kemampuan Konversi dan Penyimpanan Data Medis menerima data dari perangkat kesehatan bergerak, mengubah data ini bila diperlukan, dan menyimpan data dalam basis data data medis untuk analisis dan pemrosesan lebih lanjut sambil mematuhi standar privasi dan keamanan layanan kesehatan yang relevan.
- Kemampuan Pertukaran Data Medis B2B menangani pertukaran informasi otomatis antara platform kesehatan seluler dan basis data penyedia layanan kesehatan.
- Administrasi B2B menyediakan fungsionalitas administrasi kepada penyedia layanan kesehatan; misalnya, akuntansi, pengendalian audit, dan sebagainya.



Gambar 13.9 Blok bangunan utama dan antarmuka arsitektur referensi kesehatan seluler. (Dari GSMA 2011. Perangkat Kesehatan Seluler yang Terhubung: Arsitektur Referensi. Versi 1.0^[32].)

13.16 Aplikasi mHealth

Aplikasi mHealth yang paling banyak diadopsi adalah pesan teks karena kemudahan penggunaannya, biaya rendah, dan ketersediaannya di hampir setiap ponsel di dunia. Puluhan solusi mHealth tersedia; kunci yang mendapat perhatian lebih luas termasuk keluarga berencana, kesehatan bayi baru lahir, dan pengendalian tembakau.

Keluarga Berencana: Program mHealth untuk keluarga berencana menyediakan berbagai mekanisme yang memanfaatkan semua jenis ponsel (yaitu, dasar, fitur, dan pintar). Program-program pada tingkat tinggi ini dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok praktik mHealth, yaitu berpusat pada klien dan berfokus pada penyedia dan sistem kesehatan. Program yang berpusat pada klien dirancang untuk memberikan informasi dan dukungan kesehatan secara langsung kepada klien atau masyarakat umum, sedangkan yang terakhir memberikan

pelatihan, konseling/bantuan pekerjaan, dan dukungan kinerja untuk petugas kesehatan, sistem, data, dan manajemen program ^[28].

Kesehatan Bayi Baru Lahir: Hari kelahiran bayi adalah hari paling berbahaya dalam hidupnya, karena lebih dari 1 juta anak meninggal setiap tahun pada hari mereka dilahirkan ^[33]. Tiga penyebab utama kematian bayi baru lahir adalah prematuritas, komplikasi saat melahirkan, dan infeksi neonatal. Risiko ini membutuhkan dedikasi sumber daya dan waktu serta memberikan perawatan berkualitas pada saat kelahiran dan minggu setelah kelahiran ^[34]. Risiko ini dapat diatasi sampai batas tertentu dengan menggunakan solusi mHealth.

Pengendalian Tembakau: Inisiatif Bebas Tembakau (TFI) WHO dimulai pada tahun 1988 dan telah membuat kemajuan yang stabil. WHO FCTC (Konvensi Kerangka Kerja Organisasi Kesehatan Dunia tentang Pengendalian Tembakau) adalah perjanjian kesehatan masyarakat global yang diadopsi pada tahun 2003 oleh negara-negara di seluruh dunia sebagai kesepakatan untuk menerapkan kebijakan yang mengarah pada penghentian tembakau ^[5,35]. Kontrol Tembakau dan Kesehatan Seluler adalah inisiatif baru-baru ini yang menambahkan kemampuan perangkat seluler ke dalam gambaran keseluruhan TFI ^[36]. Sekali lagi, cara terbaik untuk menciptakan kesadaran adalah melalui SMS, yang memiliki jangkauan jauh lebih besar daripada melalui kampanye TV, cetak atau media lainnya. WHO sedang mengembangkan proyek geo-tagging/geo-fencing untuk membuat gambar kota dan lokasi bebas asap rokok melalui Internet. Proses ini akan menggunakan ponsel dan Internet untuk meningkatkan kesadaran.

13.17 Tantangan

mHealth membawa tantangan karena cenderung menggabungkan dua industri yang sangat berbeda. Komunikasi seluler adalah industri yang berfokus pada konsumen yang didorong oleh tuntutan pengguna sementara layanan kesehatan mengejar kebijakan yang kaku di mana praktisi medis bertanggung jawab dan berusaha mengambil pendekatan paternalistik ^[37,38].

Industri perawatan kesehatan telah bekerja menuju budaya yang berpusat pada pasien dengan menjadikan mereka peserta aktif dalam perawatan mereka sendiri. Telah ada peningkatan fokus pada pencegahan dan promosi kesehatan yang baik yang dapat diperoleh tanpa pergi ke rumah sakit. ITC (eHealth/mHealth) dapat memainkan peran penting, terutama dalam kesejahteraan pasien miskin ^[38].

Tantangan utama adalah sebagai berikut:

Privasi dan Keamanan: solusi dan perangkat mHealth mengumpulkan informasi dalam jumlah besar (misalnya, data yang disimpan oleh pengguna di perangkat dan data dari sensor yang berbeda, termasuk lokasi) dan memprosesnya. Perlindungan data dan privasi adalah tugas yang menantang saat melintasi jaringan seluler dan lintas benua. Di banyak negara berkembang, undang-undang sudah ada tentang hal-hal ini tetapi implementasinya masih jauh dari selesai. Kehilangan atau pencurian perangkat yang menyimpan informasi sensitif dapat menjadi masalah keamanan yang serius. Dengan demikian, solusi mHealth mungkin berisi perlindungan keamanan yang spesifik dan sesuai seperti enkripsi data pasien dan mekanisme otentikasi pasien/dokter yang sesuai untuk mengurangi risiko keamanan ^[37].

Peraturan: Masalah seperti itu muncul di mHealth sebagian besar sebagai akibat dari motivasi peraturan yang berbeda untuk sektor kesehatan dan ITC. Regulasi industri ITC yang berpusat pada konsumen menekankan pada pengembangan kompetisi dan inovasi dan penerapan

regulasi yang memadai. Sektor kesehatan yang berpusat pada klinisi di sisi lain menerapkan prinsip keselamatan terlebih dahulu dan setidaknya tidak merugikan.

Model Penggantian: Model pembayaran penggantian saat ini lebih memberi insentif pada pekerjaan yang dilakukan daripada hasil yang dicapai dan yang mungkin perlu diubah. Beberapa undang-undang nasional masih menetapkan bahwa tindakan medis hanya dapat dilakukan dengan kehadiran fisik baik pasien maupun dokter; mencegah pemberdayaan solusi mHealth.

Standar dan Interoperabilitas: Tidak adanya standar interoperabilitas⁸² antara aplikasi mHealth menghambat inovasi, skala ekonomi, dan pemanfaatan dana yang baik. Teknologi yang dapat dioperasikan mendukung inovasi dan mengarah pada sistem terbuka dan berpusat pada pasien untuk mendukung perawatan berkualitas tinggi saat orang bergerak melintasi batas organisasi dan nasional.

Kurangnya Pendidikan dan Informasi: Kurangnya pendidikan, informasi, dan berbagi informasi merupakan faktor berbahaya untuk promosi mHealth, khususnya di negara berkembang. Orang-orang yang tinggal di desa-desa dan daerah-daerah terpencil di berbagai belahan dunia, di mana mHealth paling dibutuhkan, biasanya memiliki tingkat buta huruf tertinggi, yang semakin memperparah tantangan. Pemerintah/Regulator dapat membuat program untuk promosi mHealth untuk membangun kepercayaan dan memberikan pelatihan kepada profesional kesehatan dan masyarakat luas.

13.18 Potensial Pasar mHealth

Dalam beberapa tahun terakhir, mHealth telah muncul sebagai cara pelengkap dalam memberikan pembangunan layanan kesehatan di atas konektivitas jaringan seluler di mana-mana bersama dengan proliferasi perangkat seluler di seluruh dunia. Koeksistensi antara teknologi komunikasi nirkabel dan sistem perawatan kesehatan di satu sisi dan perawatan kesehatan dan sosial di sisi lain, menciptakan peluang bisnis baru.

mHealth di negara-negara berpenghasilan tinggi didorong oleh gagasan untuk memotong biaya perawatan kesehatan sementara di negara-negara berkembang itu terutama didorong oleh kebutuhan akan akses ke perawatan primer. Analisis bersama oleh GSMA dan PwC (PricewaterhouseCoopers) memproyeksikan bahwa pasar mHealth global akan mencapai Rp. 23 triliun pada 2017–2018. Sebagian besar pangsa pasar akan berada di kawasan Eropa dan Asia-Pasifik dengan pangsa masing-masing 30%, diikuti oleh Amerika Utara dengan 28%. Amerika Latin dan Afrika diperkirakan memiliki pasar yang lebih kecil dengan perkiraan pangsa masing-masing 7% dan 5%. Ini diikuti oleh vendor perangkat (29%), pemain konten/aplikasi (11%), dan penyedia layanan kesehatan (10%)^[37,39,40]. Menurut Statista, mHealth diperkirakan bernilai sekitar 25,39 triliun rupiah pada tahun 2020^[41].

13.19 Pemakaian IoT Secara Luas

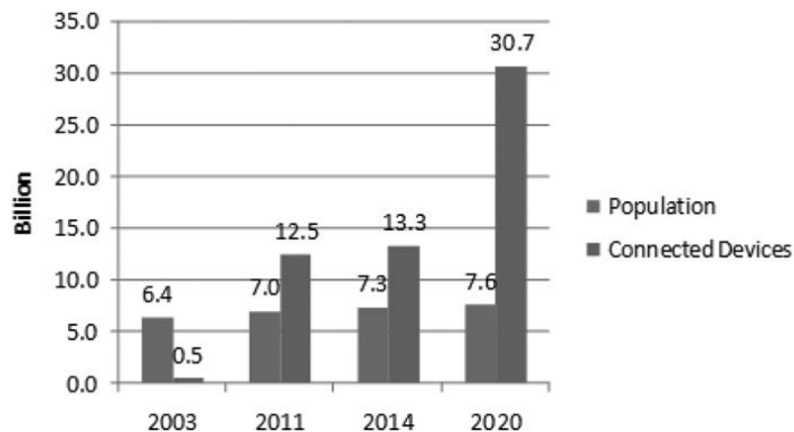
Setelah menghubungkan orang kapan saja dan di mana saja, salah satu langkah evolusi Telekomunikasi selanjutnya adalah menghubungkan berbagai hal / objek. IoT secara luas digambarkan sebagai jaringan objek / benda fisik yang saling berhubungan yang akan

⁸² Definisi studi Kesehatan Semantik “Interoperabilitas adalah di mana dua atau lebih aplikasi e-Health (misalnya, EHRs) dapat bertukar, memahami, dan bertindak atas informasi dan pengetahuan warga/pasien dan kesehatan terkait lainnya di antara dokter, pasien, dan aktor lain yang berbeda bahasa dan budaya atau organisasi di dalam dan di seluruh yurisdiksi sistem kesehatan, dengan cara kolaboratif.”

memberikan layanan baru di dalam dan di seluruh industri. Sesuatu di IoT adalah objek yang dapat diberi alamat IP dengan kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan. Benda itu bisa berupa orang dengan implan monitor jantung, mobil dengan sensor bawaan untuk memperingatkan pengemudi tentang penggantian oli dan filter, rumah/gedung dengan meteran listrik pintar, dan sebagainya.

Ada banyak definisi longgar tentang IoT yang mengarah ke beberapa fragmentasi dalam industri. Berikut beberapa contohnya:

- Menurut ITU-T, IoT adalah infrastruktur global untuk masyarakat informasi, memungkinkan layanan lanjutan dengan menghubungkan (fisik dan virtual) hal-hal berdasarkan teknologi informasi dan komunikasi yang ada dan berkembang yang dapat dioperasikan [42].
- Menurut EU FP7 CASAGRAS⁸³, ini adalah infrastruktur jaringan global, yang menghubungkan objek fisik dan virtual melalui eksploitasi pengambilan data dan kemampuan komunikasi. Infrastruktur ini mencakup perkembangan Internet dan jaringan yang ada dan berkembang. Ini akan menawarkan identifikasi objek tertentu dan sensor dan kemampuan koneksi sebagai dasar untuk pengembangan layanan dan aplikasi koperasi independen. Ini akan ditandai dengan pengambilan data otonom tingkat tinggi, transfer peristiwa, konektivitas jaringan, dan interoperabilitas [43,44].
- Istilah IoT masif juga mendapat perhatian dan dalam konteks 5G mengacu pada interkoneksi 10 miliaran hal. ITU menyebutnya mMTC, yang mengacu pada memiliki setidaknya 1 juta perangkat per km².



Gambar 13.10 IoT ke IoT masif.

Tiga pengguna utama IoT termasuk bisnis, konsumen, dan pemerintah yang diperkirakan akan menghasilkan laba atas investasi sebesar Rp. 1.300 triliun pada tahun 2025 [45]. Ada sekitar 6,36 miliar manusia dan sekitar 500 juta perangkat yang terhubung ke Internet (kebanyakan PC dan beberapa smartphone) pada tahun 2003 [46,47]. Pada tahun 2011, ada 7 miliar manusia dan 12,5 miliar perangkat yang terhubung [48]. Pada tahun 2014, ada 7,3 miliar manusia dan 13,3 miliar perangkat yang terhubung [49]. Populasi dunia diperkirakan akan mencapai 7,6 miliar dan akan ada sekitar 30,7 miliar perangkat yang terhubung pada tahun 2020 [50,51]. Tren ini (Gambar 13.10) menunjukkan bahwa ada lebih banyak perangkat yang terhubung daripada manusia dan diperkirakan akan meningkat secara signifikan di masa depan, membuat IoT hari ini menjadi IoT besar-besaran di masa depan.

⁸³ CASAGRAS (Koordinasi dan Aksi Dukungan untuk Aktivitas dan Standardisasi terkait RFID Global) adalah proyek Kerangka 7 Eropa.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

13.20 M2M versus IoT

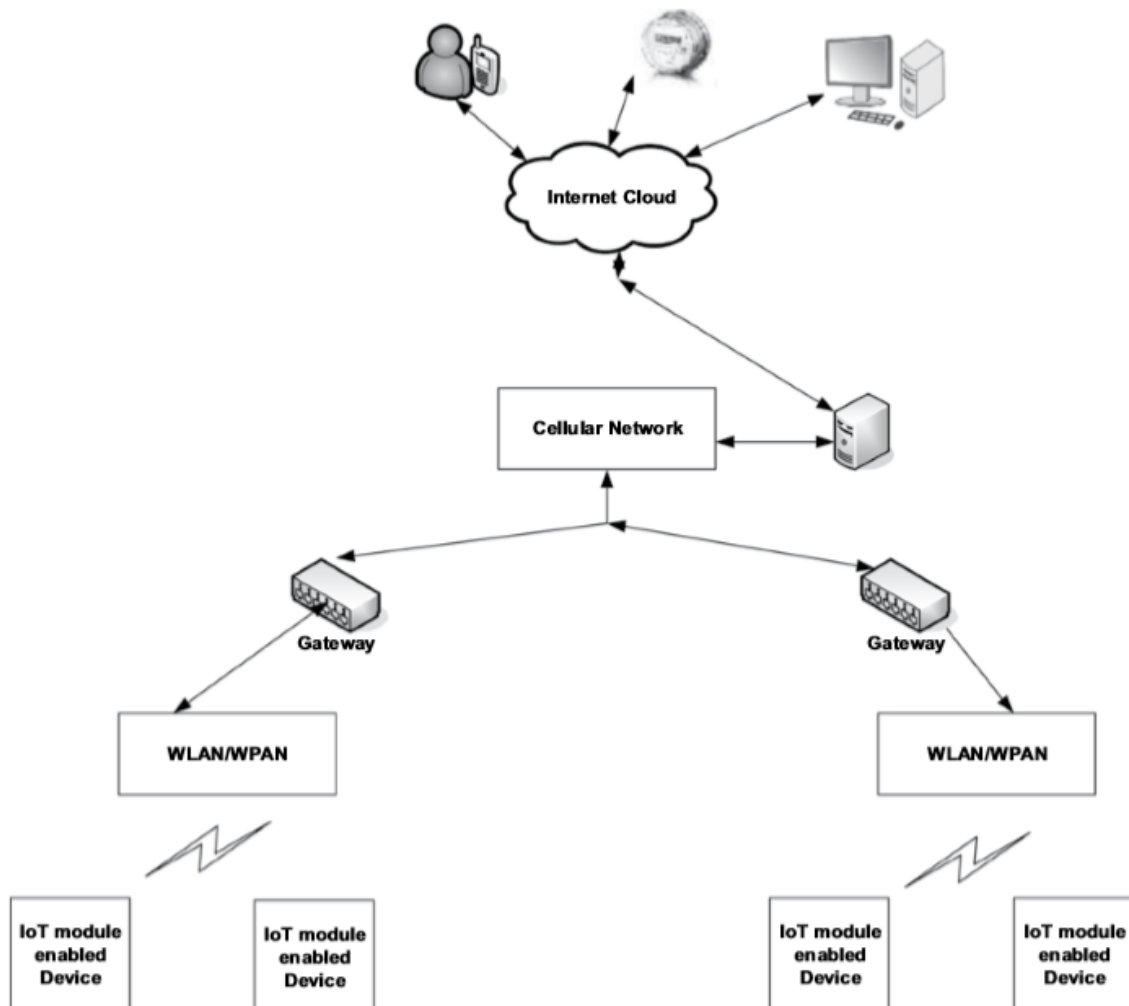
Cukup sering, istilah IoT dan M2M digunakan secara bergantian. Namun, dapat dipastikan bahwa kedua konsep ini memang memiliki arti yang sedikit berbeda dan penting untuk mengidentifikasi perbedaannya sebelum menyelami detailnya.

M2M didefinisikan sebagai pertukaran data antara perangkat yang menggunakan saluran komunikasi dan memproses data tanpa (atau minimal) bantuan manusia, misalnya, memungkinkan sensor atau meter untuk mengomunikasikan data yang direkamnya (seperti suhu, tingkat persediaan, dll.) ke komputer jarak jauh untuk diproses [5].

M2M dengan protokol Internet dapat dianggap sebagai bagian dari IoT [52]. M2M adalah tentang menghubungkan dan berkomunikasi dengan sesuatu, di mana sesuatu dapat berupa mesin, perangkat, atau sensor dengan sedikit interaksi manusia. IoT di sisi lain, mewakili hal-hal yang berhubungan dengan sistem, orang, dan hal-hal lain [53].

Konsepnya serupa, tetapi umumnya, industri mencadangkan istilah M2M untuk lebih banyak jenis aplikasi industri di mana ada sedikit keterlibatan manusia dan mencakup sebagian besar aplikasi konsumen di bawah payung istilah IoT yang lebih luas. IoT adalah konsep yang akan menciptakan peluang dan ancaman di hampir setiap industri yang berlaku saat ini

13.21 Ekosistem



Gambar 13.11 Rantai nilai IoT

Ekosistem IoT yang sedang berkembang, melibatkan sejumlah pasar vertikal di mana satu perusahaan dari rantai nilai mungkin menyediakan lebih dari satu bagian. Alasan utama untuk ini adalah kurangnya standarisasi di banyak area perangkat yang terhubung dan keselarasan antara perangkat lunak dan solusi aplikasi dan antara vertikal atau pasar akhir yang berbeda. Ini telah memaksa banyak pemain awal IoT yang sukses untuk berintegrasi secara vertikal untuk mengembangkan solusi lengkap perangkat keras, perangkat lunak, dan layanan yang dirancang untuk pasar vertikal tertentu ^[48].

IoT melibatkan sejumlah pemain produk dan layanan yang berbeda mulai dari produsen chip hingga pengembang aplikasi IoT seperti yang ditunjukkan Gambar 13.11. Chip radio memungkinkan konektivitas yang mendasarinya, sensor mendukung pengumpulan data, sementara mikrokontroler menyediakan pemrosesan data yang dikumpulkan. Modul IoT menggabungkan chip radio, sensor, dan mikrokontroler bersama dengan kemampuan penyimpanan dan membuatnya dapat dimasukkan ke dalam perangkat. Perangkat dengan aplikasi (perangkat lunak) IoT, yang dapat dianggap sebagai bagian dari jaringan sensor nirkabel (WSN), terhubung menggunakan media nirkabel (WiFi, Zigbee, NFC, dll.) ke gateway. Gateway pada gilirannya terhubung ke jaringan selular/broadband nirkabel, lebih disukai dengan serat optik. Jika perangkat IoT disematkan dengan SIM yang dapat terhubung ke jaringan seluler, maka WSN tidak akan diperlukan.

Penyedia jaringan yang menggunakan spektrum akses nirkabel, media transmisi, dan elemen penagihan/penyediaannya mengotorisasi, menagih, dan mengirimkan data ke pihak yang diminta (bisa berupa sistem, orang dengan perangkat yang sesuai, atau sesuatu) melalui Internet. Jaringan mungkin juga memiliki platform (server) yang tertanam dengan modul dan perangkat lunak yang diperlukan untuk memproses dan mengirimkan data ini ke pihak yang diminta melalui Internet. Akhirnya, perangkat lunak aplikasi akan menyajikan semua informasi yang dikumpulkan dalam format yang dapat digunakan dan dianalisis kepada pihak yang diminta^[48,54].

13.22 Standarisasi

Lanskap standar terkait IoT saat ini agak terfragmentasi dan keberhasilannya di masa depan bergantung pada pengembangan standar global yang dapat dioperasikan. Puluhan organisasi, aliansi, dan SDO terlibat dalam pengembangan standar IoT, tetapi ini kurang kohesif.

Standarisasi IoT agak rumit karena melibatkan sejumlah pemain di dalam dan di luar industri telekomunikasi. Persyaratan dari industri yang berbeda ini sering kali berasal dari aktivitas legislasi atau regulasi. Dengan demikian, standarisasi terkait IoT mungkin perlu memperhatikan tidak hanya teknologi dan protokol, tetapi juga langkah-langkah legislatif dan peraturan dari sektor terapan tertentu ^[55].

Kegiatan standarisasi berlangsung terutama pada lima tingkatan/lapisan. Pada lapisan akses radio, 3GPP sedang mengembangkan standar untuk konektivitas dan optimalisasi jaringan radio. Pada lapisan link, IEEE, dan sebagainya telah mengembangkan banyak standar, sedangkan lapisan jaringan/Internet telah berada di bawah radar IETF dan sebagainya. Untuk lapisan layanan, M2M, OCF, AllSeen, dan seterusnya sedang mengembangkan kerangka kerja untuk mengaktifkan layanan IoT, dan terakhir, untuk mengembangkan protokol untuk aplikasi IoT (di lapisan aplikasi) OASIS, OMA, W3C, dan seterusnya terlibat secara aktif⁸⁴.

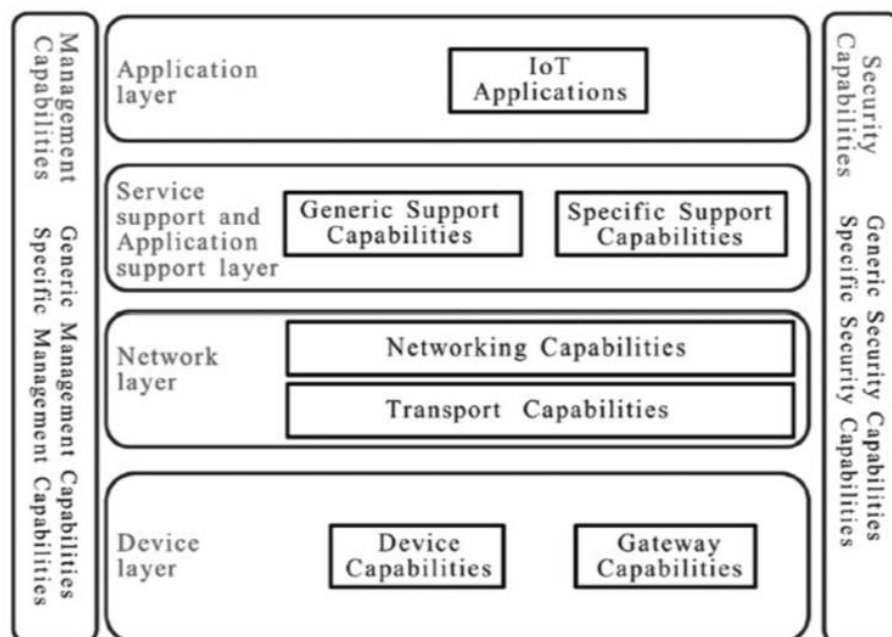
⁸⁴ OCF: Yayasan Konektivitas Terbuka; OASIS: Organisasi untuk Kemajuan Standar Informasi Terstruktur; OMA: Buka Aliansi Seluler; W3C: Konsorsium World Wide Web.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

Beberapa kegiatan standardisasi adalah sebagai berikut, rincian dapat ditemukan di [56,57].

13.22.1 ITU

Salah satu standar yang relevan adalah ITU-T Y.2060 yang diterbitkan pada tahun 2012 [42]. Ini memperjelas konsep IoT dengan menyediakan model referensi, ekosistem, dan model bisnis. Gambar 13.12 menunjukkan model referensi IoT yang terdiri dari empat lapisan serta kemampuan manajemen dan kemampuan keamanan yang terkait dengan keempat lapisan ini.

- Lapisan aplikasi berisi aplikasi IoT.
- Dukungan layanan dan lapisan dukungan aplikasi untuk menyediakan kemampuan umum (pemrosesan data atau penyimpanan data) atau khusus.
- Lapisan jaringan untuk kemampuan jaringan seperti akses dan fungsi kontrol sumber daya transportasi, manajemen mobilitas atau otentikasi, otorisasi, dan akuntansi. Ini juga menyediakan kemampuan transportasi untuk konektivitas kontrol dan data spesifik aplikasi.
- Lapisan perangkat mencakup kemampuan perangkat seperti interaksi dengan jaringan komunikasi dan jaringan ad-hoc, dan kemampuan gateway seperti dukungan untuk beberapa antarmuka untuk konektivitas dengan jaringan kabel dan nirkabel dan konversi protokol. Contoh konversi protokol adalah protokol teknologi ZigBee pada lapisan perangkat dan protokol teknologi 3G pada lapisan jaringan.



Gambar 13.12 Model referensi IoT. (Dari ITU-T 2012. Rekomendasi ITU-T Y.2060 Ikhtisar Internet of Things [42].)

Dengan cara yang mirip dengan jaringan komunikasi tradisional, kemampuan manajemen IoT mendukung kelas FCAPS tradisional, yaitu manajemen kesalahan, manajemen konfigurasi, manajemen akuntansi, manajemen kinerja, dan manajemen keamanan. Standar tersebut menentukan kemampuan manajemen generik yang penting seperti manajemen perangkat, manajemen topologi jaringan lokal, dan manajemen lalu lintas dan kemacetan. Ini lebih lanjut mendefinisikan kemampuan manajemen khusus yang digabungkan erat dengan persyaratan khusus aplikasi, misalnya, persyaratan pemantauan saluran transmisi daya jaringan pintar.

Standar ini juga menyoroti kemampuan keamanan umum yang tidak bergantung pada aplikasi dan dapat diterapkan pada lapisan aplikasi, jaringan, dan perangkat. Kemampuan keamanan khusus digabungkan erat dengan persyaratan khusus aplikasi, misalnya, pembayaran seluler.

13.22.2 3GPP

3GPP di Rel-13 telah memperkenalkan eMTC dan NB-IoT (narrowband IoT) yang secara kolektif disebut sebagai LTE IoT. Teknologi ini dioptimalkan untuk kompleksitas/daya yang lebih rendah, dan pada saat yang sama efektif dalam cakupan yang lebih dalam dan area kepadatan perangkat yang lebih tinggi. Ini dirancang untuk hidup berdampingan dengan mulus dengan layanan LTE lainnya juga ^[58].

Rilis yang sama membawa dua versi kategori UE yang diperkecil, yaitu LTE IoT Cat-M1 dan LTE IoT Cat-NB1. Yang pertama memberikan kecepatan data hingga 1 Mbps dalam bandwidth 1,4 MHz dalam spektrum LTE FDD/TDD yang ada. Kategori terakhir mengirimkan data dalam 10-an kbps dalam bandwidth 200 kHz dalam spektrum LTE FDD.

Diharapkan solusi IoT masif berbasis 5G NR mungkin tersedia untuk memenuhi persyaratan IMT-2020 ITU. Rel-14 dan seterusnya bekerja untuk pemberdayaan IoT besar-besaran.

Dunia di sekitar kita penuh dengan inovasi cerdas dan perangkat IoT/M2M dan ini tidak menunggu standar apa pun. Berfokus pada satu standar atau seperangkat standar yang disepakati untuk IoT diperlukan, tetapi tugasnya masih jauh dari selesai. Pada saat yang sama, standar yang disepakati tidak selalu berarti bahwa tujuan interoperabilitas tercapai. Industri komunikasi seluler telah berhasil tidak hanya karena standar globalnya, tetapi juga mengamankan interoperabilitas melalui sertifikasi perangkat seluler dan peralatan infrastruktur dan kebutuhan yang sama juga berlaku untuk IoT.

13.23 Aplikasi

IoT berpotensi akan menemukan tempatnya di hampir semua industri dan menciptakan nilai. Mulai dari smart meter, smart home, health care, hingga sebatas pelacakan armada, aplikasi IoT dapat digunakan. IoT berkaitan dengan penggunaan Internet untuk kehidupan cerdas. Aplikasi IoT utama yang menjangkau sejumlah industri disebut sebagai domain vertikal ^[59]. Ini termasuk tetapi tidak terbatas pada kesehatan, transportasi, energi, keamanan, komunikasi, dan infotainment seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.13. Visi IoT yang meresap membutuhkan integrasi berbagai domain vertikal ke dalam satu domain horizontal terpadu yang sering disebut sebagai kehidupan cerdas. Visi ini menciptakan peluang yang signifikan di pasar vertikal elektronik konsumen, elektronik otomotif, aplikasi medis, komunikasi, dan sebagainya. Aplikasi di area ini secara langsung mendapat manfaat dari teknologi semikonduktor More-Moore dan More-than-Moore, komunikasi, jaringan, dan pengembangan perangkat lunak.

Beberapa contoh aplikasi IoT adalah sebagai berikut ^[48,54,55]:

13.23.1 Aplikasi IoT untuk kota pintar

- Parkir pintar memungkinkan pemantauan ketersediaan ruang parkir di kota.
- Pencahayaan cerdas memungkinkan pencahayaan cerdas dan adaptif cuaca di lampu jalan.
- Pengelolaan sampah menyediakan deteksi tingkat sampah dalam wadah untuk mengoptimalkan rute pengumpulan sampah.

HEALTH	Personal Health Monitoring
FOOD	Food Health Monitoring Food Delivery
ENERGY	Smart Metering
SECURITY	Home / Office Building Monitoring
TRANSPORT	Telematics
INFOTAINMENT	Connected Vehicle

Gambar 13.13 Matriks aplikasi: Kebutuhan masyarakat versus segmen pasar (domain vertikal).

13.23.2 Aplikasi IoT untuk Melindungi Lingkungan

- Deteksi kebakaran hutan memungkinkan pemantauan gas pembakaran dan kondisi kebakaran pre-emptive untuk menentukan zona siaga.
- Polusi udara membantu mengendalikan emisi CO₂ dari pabrik, polusi yang dikeluarkan oleh mobil, dan gas beracun yang dihasilkan di peternakan.

13.23.3 Aplikasi IoT untuk Smart Grid

- Smart grid membantu dalam memantau konsumsi energi dan kebocoran.
- Level tangki membantu memantau level air, minyak, dan gas di tangki penyimpanan.

13.24 Tantangan/Solusi

IoT telah dikritik karena dikembangkan dengan cepat tanpa memberikan pertimbangan yang tepat untuk tantangan keamanan, hukum, dan peraturan. Kekhawatiran juga telah dikemukakan mengenai kemampuan IoT untuk mengikis kendali orang atas kehidupan mereka sendiri [60]. Ini adalah tambahan untuk tantangan standarisasi teknis yang dapat menyediakan platform untuk harmonisasi di seluruh industri.

Serangan siber dapat menjadi ancaman fisik (bukan hanya virtual). Dengan demikian, integritas dan kerahasiaan data adalah suatu keharusan yang dapat diatasi sampai batas tertentu oleh otentikasi pengguna dan perangkat. Langkah-langkah ini juga dapat membantu dalam menghindari kerugian finansial dan situasi yang mengancam jiwa [61].

Sistem IoT terdiri dari sistem independen yang didukung oleh lebih dari satu industri, yang digabungkan bersama untuk berinteraksi dan menyediakan layanan tertentu yang tidak dapat disediakan oleh sistem individual saat tidak bekerja sama. Tantangan mendasar adalah bahwa tidak ada arsitektur yang jelas dan disepakati untuk membangun sistem yang terhubung. Misalnya, sakelar lampu mungkin memiliki satu tingkat keamanan sementara remote control TV memiliki tingkat keamanan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan kerjasama yang kuat antar

semua pemain/industri disertai standar (arsitektur) yang jelas untuk memaksimalkan ROI pada IoT^[55,62].

13.25 Kesimpulan

Keberhasilan MFS dan mHealth sangat luar biasa, terutama di negara berkembang terutama karena kurangnya fasilitas, tenaga kerja, dan kemiskinan. Turki telah menjadi model keberhasilan dalam pengendalian tembakau seperti yang dideklarasikan pada Hari Tembakau 2013 oleh WHO. Turki adalah satu-satunya negara di dunia yang telah menerima tiga penghargaan WHO untuk pencapaian dalam pengendalian tembakau, yang dimungkinkan melalui teknologi seluler..

Ekosistem IoT telah membuat banyak kemajuan; namun, pekerjaan perlu dilakukan untuk mengembangkan arsitektur yang disepakati untuk membangun sistem yang terhubung. IoT dapat berubah menjadi aplikasi pembunuh jika tidak setidaknya menjadi penghasil pendapatan utama bagi pemain 5G.

13.26 Pertanyaan

1. Apa yang dimaksud dengan lingkungan pembuatan layanan di jaringan cerdas yang ditentukan ITU-T?
2. Definisikan SDP?
3. Definisikan IMS dan perbedaannya dengan SDP?
4. Apa saja komponen utama SDP?
5. Diskusikan dalam kelompok yang terdiri dari dua orang apakah SDP dan/atau IMS akan diperlukan untuk jaringan 5G atau tidak?
6. Mengapa uang seluler dibutuhkan baik untuk negara maju maupun negara berkembang?
7. Tentukan jenis pembayaran seluler?
8. Jelaskan tiga model pengiriman uang seluler. Berikan minimal 2 contoh dari masing-masing model?
9. Jelaskan dompet ponsel dengan contoh?
10. Diskusikan dalam kelompok dua alasan utama keberhasilan Easypaisa.
11. Bedakan antara mHealth dan eHealth?
12. Apa segmen kunci yang terlibat dalam rantai nilai mHealth?
13. Apa blok bangunan dasar mHealth sesuai arsitektur referensi GSMA?
14. Tentukan program keluarga berencana yang berpusat pada klien dan penyedia dan sistem kesehatan?
15. Definisikan Internet of Things menurut ITU-T?
16. Apa yang dimaksud dengan IoT masif?
17. Jelaskan perbedaan antara M2M dan IoT?
18. Teknologi IoT mana yang telah diperkenalkan oleh 3GPP di Rel-13?
19. Diskusikan dalam kelompok apakah IoT memerlukan standarisasi atau tidak?
20. Bagaimana IoT dapat membantu melindungi lingkungan?

13.27 Referensi

1. Asif, S. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
2. Alan Quayle 2008. Defining SOA, SDP and IMS; and How They Fit Together. <http://alanquayle.com/2008/05/defining-soa-sdp-and-ims-and-h/>
3. Heavy Reading 2005. SDP and IMS: Perfect Together? http://www.heavyreading.com/servsoftware/details.asp?sku_id=924&skuitem_itemid=851
4. Metasw ITC h Network 2011. Service Delivery Platform.
5. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.
6. Nokia Siemens Networks 2008. Service Delivery Framework.
7. Koukal, M. and Bestak, R. 2006. Architecture of IP Multimedia Subsystem. Multimedia Signal Processing and Communications. 48th Internastional Symposium EL-MAR-2006, Zadar, Croatia, June 07–09, 2006, pp. 323–326.
8. Khartabil, H. et al. 2006. The IMS: IP Multimedia Concepts and Services. John Wiley & Sons, New York.
9. Willie, W.L. 2002. Broadband Wireless Mobile. John Wiley & Sons, New York.
10. Service Requirements for the Internet Protocol (IP) Multimedia Core Network Subsystem; Stage 1. Technical Specification (Release 8), 3GPP TT 22.228 (V8.1.0), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March 2006.
11. IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2. Technical Specification (Release 6), 3GPP TS 23.228 (V6.9.0), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3GPP, March 2005.
12. Light Reading Services Software Insider 2005. SDP and IMS: Perfect Together?
13. Maes, S.H. 2010. Understanding the Relationship between SDP and the Cloud. IARIA Cloud Computing 2010: The First Internastional Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization, Lisbon, Portugal, Nov. 21–26, 2010, pp. 159–163.
14. Zhang, W. et al. 2013. Architecture and Key Issues of IMS-based Cloud Computing. IEEE 6th Internastional Conference on Cloud Computing, Santa Clara, CA, USA, 28 Jun–03 Jul 2013, pp. 629–635.
15. Wang, P. et al. 2013. A Survey of Mobile Cloud Computing: Architecture, Applications, and Approaches. Wiley Wireless Communications and Mobile Computing, 18(13):1587–1611. First published online: 11 Oct 2011 DOI: 10.1002/wcm.1203.
16. ITU-T Technology Watch Report 2013. The Mobile Money Revolution Part 1: NFC Mobile Payments.
17. World Bank 2017. Financial Inclusion. <http://www.worldbank.org/en/topic/financialinclusion/overview>
18. GSMA 2017. State of the Industry Report on Mobile Money—Decade Edition: 2006–2016.
19. Smart Card Alliance Payments Council 2011. Mobile Payments and NFC Landscape: A US Perspective. Publication Number: PC-11002.
20. ITU-T Technology Watch Report 2013. The Mobile Money Revolution Part 2: Financial Inclusion Enabler.
21. World Bank 2012. Maximizing Mobile. Report on Information and Communications for 2012. <http://www.worldbank.org/ict/ic4d2012>

22. Fokus, F. and Stamatis K. 2004. Mobile Payment: A Journey Through Existing Procedures and Standardization Initiatives. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 6(04):44–46.
23. MaCarty, M.Y. and Bjaerum, R. 2014. Mobile Money for the Unbanked, Easypaisa: Mobile Money Innovation in Pakistan. GSMA.
24. Fundamo (now part of Visa) 2012. Case Study: Telenor Easypaisa—The Enterprise Mobile Financial Services Platform.
25. Intermedia 2013. Mobile Money in Pakistan—Use, Barriers and Opportunities. The Financial Inclusion Tracker Surveys Project
26. Gallup Pakistan, Gallup International Association 2013. Use of Mobile Money in Pakistan—Findings from FITS (Financial Inclusion Tracker Surveys Project) study.
27. World Health Organization 2011. mHealth—New Horizons for Health Through Mobile Technologies— Global Observatory for eHealth series—Volume 3.
28. High-Impact Practices in Family Planning 2013. mHealth: Mobile Technology to Strengthen Family Planning Programs. USAID, Washington, DC
29. Lemaire, J. 2011. Scaling up Mobile Health—Elements Necessary for the Successful Scale of mHealth in Developing Countries. Advanced Development for Africa (Actevis Consulting Group).
30. Babu, S. 2012. MHealth Value Chain. <http://www.selfgrowth.com/articles/mhealth-value-chain>
31. GSMA, TMNG Global 2010. Mobile Technology’s Promise for Healthcare.
32. GSMA 2011. Connected Mobile Health Devices: A Reference Architecture. Version 1.0.
33. Save the Children 2013. Surviving the First Day—State of the World’s Mothers. 2013.
34. Keisling, K. 2014. mHealth Field Guide for Newborn Health. CORE Group, Washington, DC
35. WFC Policy Statement. Support for WHO Tobacco Free Initiative. Approved by the Assembly of the World Federation of Chiropractic
36. Pujari, S. 2011. Tobacco Control and Mobile Health. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
37. European Commission 2014. Green Paper on Mobile Health ("mHealth"). COM(2014) 219 final.
38. GSMA and PA Consulting Group 2011. Policy and Regulation for Innovation in Mobile Health.
39. PwC 2013. mHealth Insights—The Global mHealth Market Opportunity and Sustainable Reimbursement Models.
40. PwC and GSMA 2012. Touching Lives through Mobile Health: Assessment of the Global Market Opportunity.
41. Statista 2017. mHealth (Mobile Health) Industry Market Size Projection from 2012 to 2020 (in Billion U.S. Dollars). <https://www.statista.com/statistics/295771/mhealth-global-market-size/>
42. ITU-T 2012. Recommendation ITU-T Y.2060 Overview of the Internet of things.
43. rfidglobal.eu.
44. EU Project Number 216803—Final Report: RFID and the Inclusive Model for the Internet of Things. CASAGRAS (Coordination and Support Action for Global RFID-Related Activities and Standardization).

45. Business Insider 2016. Here's How the Internet of Things will Explode by 2020. <http://www.businessinsider.com/iot-ecosystem-Internet-of-things-forecasts-and-business-opportunities-2016-2>
46. Evans, D. 2011. The Internet of Things—How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. Cisco, California, USA.
47. Colony, G. 2003. Forrester CEO: Web Services Next IT storm. <http://www.infoworld.com/article/2681101/operating-systems/forrester-ceo--web-services-next-it-storm.html>
48. Leopold, S. et al. 2014. The Internet of Things – A Study in Hype, Reality Disruption, Growth. Raymond James & Associates, Inc, Florida, USA.
49. Machina Research 2015. Service Provider Opportunities & Strategies in the Internet of Things. Research Report Sponsored by Cisco.
50. Lucero, S. 2016. IoT Platforms: Enabling the Internet of Things. IHS, London, UK
51. Worldometers 2017. World Population by Year. <http://www.worldometers.info/world-population/world-population-by-year>
52. Telefonica 2013. What Is the Difference between M2M and IoT? <https://m2m.telefonica.com/m2m-media/m2m-blog/item/514-difference-m2m-Internet-of-things>
53. Axeda 2014. The Connected Effect—IoT vs. M2M. There's a Difference. <http://blog.axeda.com/archivedaxeda-blog-/tabid/90718/bid/104683/IoT-vs-M2M-There-s-a-Difference.aspx>
54. Warma, H. et al. 2013. Internet of Things Market, Value Networks, and Business Models: State of the Art Report. Technical Reports TR-39, Department of Computer Science and Information Systems, University of Jyväskylä
55. Vermesan, O., and Friess, P. 2013. Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. River Publishers, Aalborg, Denmark.
56. Postscapes—IoT Standards and Protocols. <https://www.postscapes.com/Internet-of-things-protocols/>
57. TechBeacon 2015. The State of IoT Standards: Stand by for the Big Shakeout. <https://techbeacon.com/state-iot-standards-stand-big-shakeout>
58. Qualcomm Technologies, Inc. 2017. Leading the LTE IoT Evolution to Connect the Massive Internet of Things
59. Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P. and Gusmeroli, S. et al. "Internet of Things Strategic Research Agenda", Chapter 2 in Internet of Things—Global Technological and Societal Trends, River Publishers, 2011, ISBN 978-87-92329-67-7
60. Crump, C., and Harwood, M. 2014. Tomgram: Crump and Harwood, The Net Closes Around Us. TomDispatch. http://www.tomdispatch.com/post/175822/tomgram%3A_crump_and_harwood%2C_the_net_closes_around_us/
61. GSMA 2011. Connected Life—GSMA Position Paper, GSMA White Paper. <http://www.gsma.com/documents/gsma-connected-life-position-paper/20440>
62. Sarma, S. 2016. The Internet of Things: Roadmap to a Connected World. MIT Technology Review, Massachusetts, USA. <https://www.technologyreview.com/s/601013/the-Internet-of-things-roadmap-to-a-connected-world/>

BAGIAN VI

BAB 14

TANTANGAN YANG MENARIK

Kemajuan teknologi di satu sisi membawa manfaat dan di sisi lain sejumlah tantangan. Kemajuan ini telah memungkinkan migrasi dari suara ke jaringan data centric yang bermanfaat sekaligus menantang. Imbalan seperti yang kita semua tahu adalah dalam bentuk kecepatan yang lebih cepat, konektivitas yang selalu aktif, pengalaman pengguna yang lebih baik, ratusan aplikasi yang berguna, manfaat sosial-ekonomi, dan sebagainya. Tantangan di sisi lain menghasilkan inovasi dan dapat mengarah pada lahirnya teknologi generasi berikutnya.

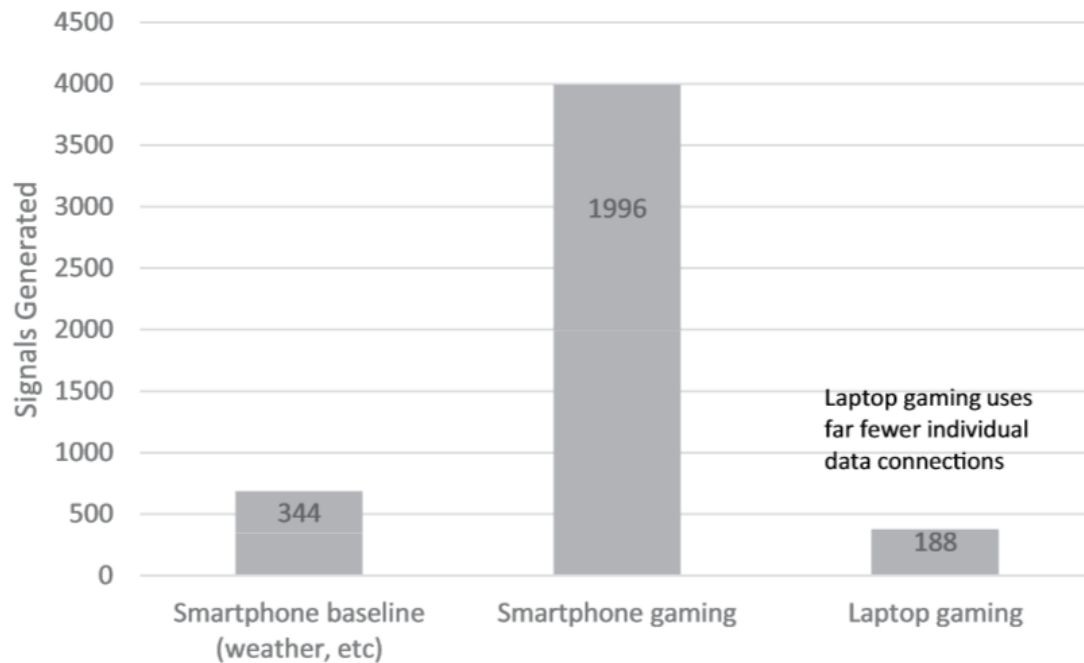
Bab ini berfokus pada beberapa tantangan utama jaringan saat ini dan masa depan dan juga memberikan beberapa solusi untuk mengatasi hal yang sama. Diskusi berkisar pada sinyal badai yang disaksikan di beberapa jaringan 3G selama awal dekade karena penggunaan smartphone yang sangat besar, dan frekuensinya dapat meningkat di jaringan masa depan jika tidak ditangani secara efektif. Pada bagian selanjutnya akan dibahas tentang HetNets yang cukup menarik seiring dengan perpindahan industri dari jaringan 3G/4G ke 5G. Tantangan lain yang menakutkan yang akan dihadapi industri dalam jaringan 5G berkisar pada komunikasi D2D. Berbagai forum terkait 5G mencari tantangan yang terkait dengan D2D dan ringkasannya disediakan di bab ini. Last but not least adalah tantangan data besar yang telah meningkat karena pertumbuhan data yang sangat besar selama dekade terakhir dan ini akan meningkat seiring dunia menuju 5G.

14.1 Badai Sinyal

Selama tahun-tahun awal broadband, operator dengan mudah menangani lalu lintas data melalui teknik optimasi jaringan yang tersedia. Selain itu, pada saat itu, sumber utama penghasil data adalah desktop dan laptop yang hemat baterai. Namun, pertumbuhan eksponensial smartphone bersama dengan aplikasi yang haus bandwidth telah menggeser fokus pengoptimalan secara merata ke perangkat yang terhubung.

Smartphone telah menciptakan perubahan besar dalam cara orang berinteraksi dengan informasi dan hiburan. Seiring dengan sisi positifnya, ini juga bertanggung jawab untuk menciptakan lonjakan sinyal di jaringan seluler. Banyak aplikasi populer seperti perpesanan, email, Facebook, dan Twitter dirancang untuk menyentuh basis jaringan untuk pembaruan secara berkala. Aplikasi ini bekerja secara independen dan tidak menyadari kondisi jaringan, sehingga menghasilkan permintaan koneksi yang tidak terkoordinasi dan sejumlah besar pensinyalan (yang oleh beberapa orang disebut sebagai badai pensinyalan) ^[1].

Gambar 14.1 menunjukkan sinyal yang dihasilkan dengan memainkan game poker multipemain online selama 30 menit melalui laptop versus smartphone (iPhone versi 4.1). Aktivitas dasar juga diukur pada iPhone versi 4.1 dengan cuaca dan aplikasi email yang berjalan di latar belakang selama 30 menit. Dapat dilihat bahwa laptop menghasilkan 188 pesan pensinyalan selama setengah jam sementara smartphone menghasilkan lebih dari 10 kali lipat jumlah itu pada 1996 sinyal yang mengejutkan selama setengah jam itu. Ini adalah 66 sinyal per menit atau rata-rata satu sinyal per detik ^[2].



Gambar 14.1 Pensinyalan yang dihasilkan melalui permainan poker multipemain online. (Dari Nokia Siemens Networks Smart Labs 2011. Memahami Perilaku Smartphone dalam Jaringan^[2].)

14.1.1 Transmisi

Penggunaan beberapa antena untuk transmisi dan/atau penerimaan dapat memberikan manfaat besar dalam sistem komunikasi bergerak.

Beberapa antena di sisi pemancar dan/atau penerima dapat digunakan untuk memberikan keragaman terhadap fading dengan memanfaatkan fakta bahwa saluran yang dialami oleh antena yang berbeda mungkin setidaknya sebagian tidak berkorelasi, baik karena jarak antar antena yang cukup atau karena perbedaan polarisasi antara antena.

Selanjutnya, dengan menyesuaikan fase secara hati-hati, dan mungkin juga amplitudo, dari setiap elemen antena, beberapa antena di sisi pemancar dapat digunakan untuk menyediakan direktivitas, yaitu, untuk memfokuskan daya yang ditransmisikan secara keseluruhan ke arah tertentu (pembentukan sinar) atau, dalam kasus yang lebih umum, ke lokasi tertentu di ruang angkasa. Direktivitas semacam itu dapat meningkatkan kecepatan dan jangkauan data yang dapat dicapai karena daya yang lebih tinggi mencapai penerima target. Directivity juga akan mengurangi interferensi ke link lain, sehingga meningkatkan efisiensi spektrum secara keseluruhan.

Demikian pula, beberapa antena penerima dapat digunakan untuk menyediakan directivity sisi penerima, memfokuskan penerimaan ke arah sinyal target, sambil menekan interferensi yang datang dari arah lain.

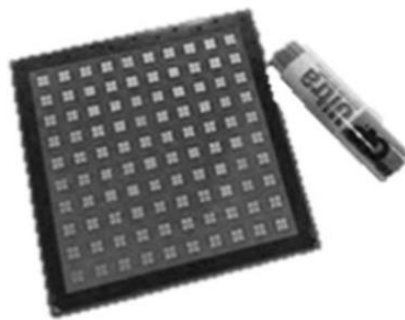
Terakhir, kehadiran beberapa antena di kedua sisi pemancar dan penerima dapat digunakan untuk mengaktifkan multiplexing spasial, yaitu transmisi beberapa "lapisan" secara paralel menggunakan sumber daya waktu/frekuensi yang sama.

Dalam LTE, transmisi/penerimaan multi-antena untuk keragaman, directivity, dan multiplexing spasial adalah alat utama untuk memungkinkan kecepatan data tinggi dan efisiensi sistem yang tinggi. Namun, transmisi/penerimaan multi-antena merupakan

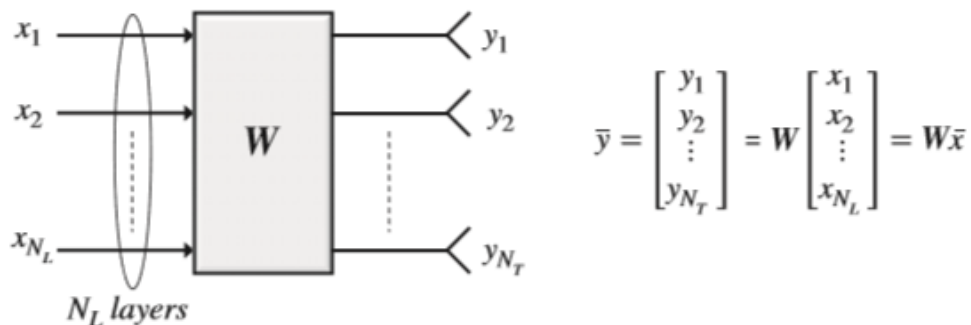
komponen yang bahkan lebih penting untuk NR karena kemungkinan penyebaran pada frekuensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan LTE.

Ada asumsi yang mapan dan sebagian besar benar bahwa komunikasi radio pada frekuensi yang lebih tinggi dikaitkan dengan kehilangan propagasi yang lebih tinggi dan dengan demikian mengurangi jangkauan komunikasi. Namun, setidaknya sebagian dari ini disebabkan oleh asumsi bahwa dimensi skala antena penerima dengan panjang gelombang, yaitu dengan kebalikan dari frekuensi pembawa. Sebagai contoh, peningkatan sepuluh kali lipat dalam frekuensi pembawa, sesuai dengan pengurangan sepuluh kali lipat dalam panjang gelombang, diasumsikan menyiratkan pengurangan sepuluh kali lipat yang sesuai dalam dimensi fisik antena penerima atau faktor pengurangan 100 di area antena fisik. Ini sesuai dengan pengurangan 20 dB dalam energi yang ditangkap oleh antena.

Jika ukuran antena penerima tetap tidak berubah saat frekuensi pembawa meningkat, pengurangan energi yang ditangkap dapat dihindari. Namun, ini akan menyiratkan bahwa ukuran antena akan meningkat relatif terhadap panjang gelombang, sesuatu yang secara inheren meningkatkan direktivitas antena.¹ Penguatan dengan ukuran antena yang lebih besar hanya dapat direalisasikan jika antena penerima diarahkan dengan baik ke arah target sinyal.



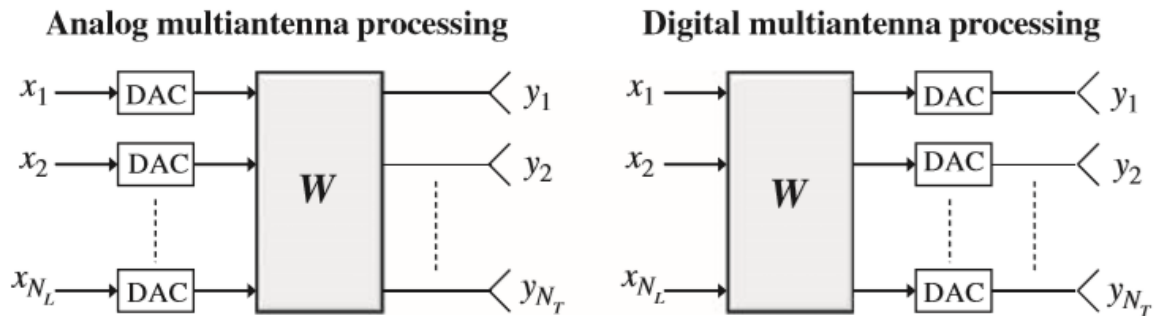
Gambar 14.1a Panel antena persegi dengan 64 elemen antena terpolarisasi ganda.



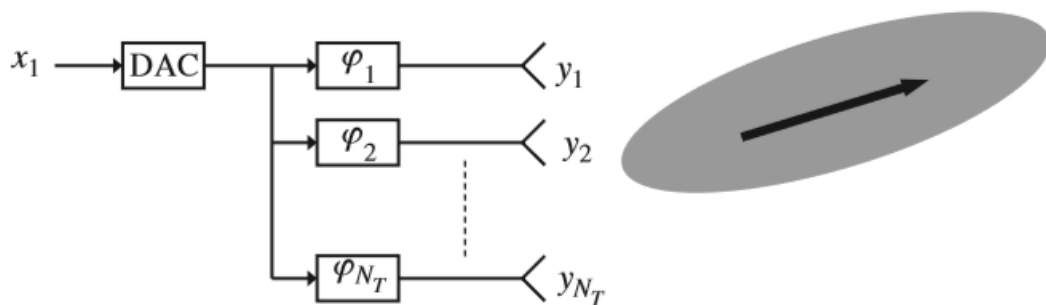
Gambar 14.1b Model umum transmisi multi-antena memetakan lapisan N_L ke antena N_T .

Dengan juga menjaga ukuran antena sisi pemancar tidak berubah, dalam praktiknya meningkatkan direktivitas antena pemancar, anggaran tautan pada frekuensi yang lebih tinggi dapat lebih ditingkatkan. Dengan asumsi propagasi line-of-sight dan mengabaikan kerugian lainnya, anggaran link keseluruhan kemudian akan benar-benar meningkat untuk frekuensi yang lebih tinggi. Dalam prakteknya ada banyak faktor lain yang berdampak negatif pada kerugian propagasi keseluruhan pada frekuensi yang lebih tinggi seperti redaman atmosfer yang lebih tinggi dan difraksi yang lebih sedikit yang mengarah pada propagasi non-line-of-sight yang terdegradasi. Namun, keuntungan dari directivity antena yang lebih tinggi pada frekuensi yang lebih tinggi secara luas digunakan dalam link radio point-to-point di mana

penggunaan antenna yang sangat terarah di kedua sisi pemancar dan penerima, dalam kombinasi dengan link line-of-sight, memungkinkan untuk relatif lama jangkauan komunikasi meskipun beroperasi pada frekuensi yang sangat tinggi.



Gambar 14.1c Pemrosesan multi-antena analog vs digital.



Gambar 14.1d Pemrosesan multi-antena analog menyediakan pembentukan balok

Dalam sistem komunikasi bergerak dengan perangkat yang terletak di berbagai arah relatif terhadap stasiun pangkalan dan perangkat itu sendiri memiliki arah rotasi yang pada dasarnya acak, penggunaan antenna berarah tinggi tetap jelas tidak dapat diterapkan. Namun, efek serupa, yaitu, perluasan area antenna penerima keseluruhan yang memungkinkan transmisi direktivitas lebih tinggi, juga dapat dicapai melalui panel antenna yang terdiri dari banyak elemen antenna kecil. Dalam hal ini, dimensi setiap elemen antenna, serta jarak antar elemen antenna, sebanding dengan panjang gelombang. Dengan meningkatnya frekuensi, ukuran setiap elemen antenna, serta jarak timbal baliknya, dengan demikian berkurang. Namun, dengan asumsi ukuran konfigurasi antenna secara keseluruhan konstan, hal ini dapat dikompensasikan dengan meningkatkan jumlah elemen antenna. Gambar 14.1a menunjukkan contoh panel antenna semacam itu yang terdiri dari 64 elemen antenna terpolarisasi ganda dan menargetkan pita 28 GHz. Baterai AAA disertakan dalam gambar sebagai indikasi ukuran keseluruhan panel antenna.

Manfaat panel antenna seperti itu dengan sejumlah besar elemen antenna kecil, dibandingkan dengan satu antenna besar, adalah bahwa arah pancaran pemancar dapat disesuaikan dengan secara terpisah menyesuaikan fase sinyal yang diterapkan ke setiap elemen antenna. Efek yang sama dapat dicapai ketika panel multi-antenna, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 14.1a, digunakan pada sisi penerima, yaitu, arah pancaran penerima dapat disesuaikan dengan secara terpisah menyesuaikan fase sinyal yang diterima. pada setiap elemen antenna.

Secara umum, skema transmisi multi-antenna linier dapat dimodelkan menurut Gambar 14.1b dengan lapisan NL, ditangkap oleh vektor x , dipetakan ke antenna pemancar NT (vektor y) dengan cara perkalian dengan matriks ukuran W $N_T \times N_L$.

Model umum Gambar 14.1c berlaku untuk sebagian besar kasus transmisi multi-antena. Namun, tergantung pada implementasinya, akan ada berbagai tingkat kendala yang akan berdampak pada kemampuan sebenarnya dari transmisi multi-antena.

Salah satu aspek implementasi tersebut berkaitan dengan di mana, dalam keseluruhan rantai pemancar fisik, pemrosesan multi-antena, yaitu, matriks W dari Gambar 14.1d, diterapkan. Pada tingkat tinggi seseorang dapat membedakan antara dua kasus:

- Pemrosesan multi-antena diterapkan dalam bagian analog dari rantai pemancar, yaitu, setelah konversi digital-ke-analog (bagian kiri dari Gambar 14.1c);
- Pemrosesan multi-antena diterapkan dalam bagian digital dari rantai pemancar, yaitu sebelum konversi digital-ke-analog (bagian kanan Gambar 14.1c).

14.1.2 Skema Transmisi, Bagian Bandwidth, dan Struktur Bingkai

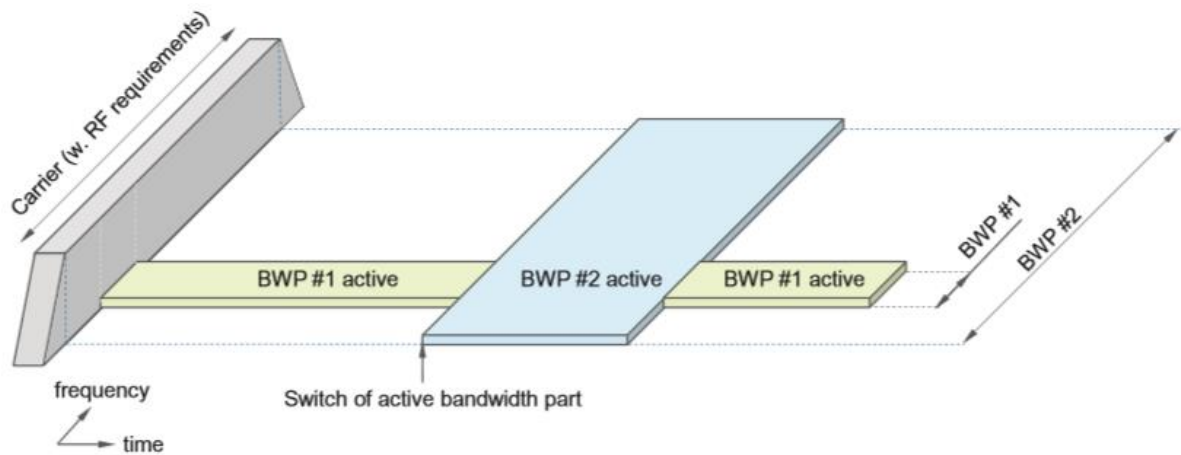
Mirip dengan LTE, OFDM ditemukan menjadi bentuk gelombang yang cocok untuk NR karena ketahanannya terhadap dispersi waktu dan kemudahan mengeksploitasi domain waktu dan frekuensi ketika mendefinisikan struktur untuk saluran dan sinyal yang berbeda. Namun, tidak seperti LTE di mana OFDM dengan DFT-precoded adalah satu-satunya skema transmisi di uplink, NR menggunakan OFDM konvensional, yaitu non-DFT-precoded OFDM, sebagai skema transmisi uplink baseline karena struktur penerima yang lebih sederhana dalam kombinasi dengan multiplexing spasial dan keinginan keseluruhan untuk memiliki skema transmisi yang sama baik di uplink maupun downlink. Namun demikian, precoding DFT dapat digunakan sebagai pelengkap dalam uplink untuk alasan yang sama seperti pada LTE, yaitu untuk mengaktifkan efisiensi penguat daya yang tinggi di sisi perangkat dengan mengurangi metrik kubik. Metrik kubik adalah ukuran jumlah back-off daya tambahan yang diperlukan untuk bentuk gelombang sinyal tertentu.

Untuk mendukung berbagai skenario penyebaran, dari sel besar dengan frekuensi pembawa sub1 GHz hingga penyebaran gelombang mm dengan alokasi spektrum yang sangat luas, NR mendukung numerologi OFDM yang fleksibel dengan jarak subcarrier mulai dari 15 kHz hingga 240 kHz dengan perubahan proporsional dalam durasi awalan siklik. Spasi subcarrier yang kecil memiliki keuntungan menyediakan awalan siklis yang relatif panjang dalam waktu absolut pada overhead yang wajar sementara jarak subcarrier yang lebih tinggi diperlukan untuk menangani, misalnya, peningkatan noise fase pada frekuensi pembawa yang lebih tinggi. Hingga 3300 subcarrier digunakan meskipun total bandwidth maksimum dibatasi hingga 400 MHz, menghasilkan bandwidth carrier maksimum 50/100/200/400 MHz untuk spasi subcarrier masing-masing 15/30/60/120 kHz. Jika bandwidth yang lebih besar akan didukung, agregasi operator dapat digunakan.

Meskipun spesifikasi lapisan fisik NR adalah band-agnostic, tidak semua numerologi yang didukung relevan untuk semua band frekuensi. Rentang frekuensi 0,45-6 GHz biasa disebut sebagai rentang frekuensi 1 (FR1) dalam spesifikasi, sedangkan rentang 24,25-52,6 GHz dikenal sebagai FR2. Saat ini, tidak ada spektrum NR yang teridentifikasi antara 6 GHz dan 24,25 GHz. Namun, teknologi akses radio NR dasar adalah spektrum agnostik dan spesifikasi NR dapat dengan mudah diperluas untuk mencakup spektrum tambahan, misalnya, spektrum dari 6 GHz hingga 24,25 GHz.

Di LTE, semua perangkat mendukung bandwidth operator maksimum 20 MHz. Namun, mengingat kemungkinan bandwidth yang sangat lebar di NR, tidak masuk akal untuk meminta

semua perangkat mendukung bandwidth operator maksimum. Hal ini berimplikasi pada beberapa area dan memerlukan desain yang berbeda dari LTE, misalnya desain saluran kontrol seperti yang akan dibahas nanti. Selanjutnya, NR memungkinkan adaptasi bandwidth penerima sisi perangkat sebagai sarana untuk mengurangi konsumsi energi perangkat. Adaptasi bandwidth mengacu pada penggunaan bandwidth yang relatif sederhana untuk memantau saluran kontrol dan menerima kecepatan data menengah, dan secara dinamis membuka penerima pita lebar hanya bila diperlukan untuk mendukung kecepatan data yang sangat tinggi.



Gambar 14.2 Contoh bandwidth yang diadaptasi menggunakan bagian bandwidth

Untuk menangani dua aspek ini, NR mendefinisikan bagian bandwidth yang menunjukkan bandwidth di mana perangkat saat ini diasumsikan menerima transmisi numerologi tertentu. Jika perangkat mampu menerima beberapa bagian bandwidth secara simultan, pada prinsipnya dimungkinkan untuk, pada operator tunggal, mencampur transmisi numerologi yang berbeda untuk satu perangkat, meskipun rilis 15 hanya mendukung satu bagian bandwidth aktif pada satu waktu.

Subframe pada gilirannya dibagi menjadi slot yang masing-masing terdiri dari 14 simbol OFDM, yaitu durasi slot dalam milidetik tergantung pada numerologi. Untuk jarak subcarrier 15-kHz, slot NR memiliki struktur yang identik dengan struktur subframe LTE, yang menguntungkan dari perspektif koeksistensi. Karena slot didefinisikan sebagai sejumlah simbol OFDM yang tetap, jarak subcarrier yang lebih tinggi menyebabkan durasi slot yang lebih pendek. Pada prinsipnya ini dapat digunakan untuk mendukung transmisi latensi yang lebih rendah, tetapi karena awalan siklik juga menyusut ketika meningkatkan jarak subcarrier, ini bukan pendekatan yang layak di semua penerapan. Oleh karena itu, NR mendukung pendekatan yang lebih efisien untuk latensi rendah dengan memungkinkan transmisi melalui sebagian kecil slot, kadang-kadang disebut sebagai transmisi "slot mini". Transmisi semacam itu juga dapat mendahului transmisi berbasis slot yang sudah berlangsung ke perangkat lain, memungkinkan transmisi data segera yang membutuhkan latensi sangat rendah.

Memiliki fleksibilitas untuk memulai transmisi data tidak hanya pada batas slot juga berguna saat beroperasi dalam spektrum yang tidak berlisensi. Dalam spektrum yang tidak berlisensi, pemancar biasanya diperlukan untuk memastikan bahwa saluran radio tidak ditempati oleh transmisi lain sebelum memulai transmisi, prosedur yang umumnya dikenal sebagai "dengarkan-sebelum-bicara." Jelas, setelah saluran ditemukan, akan bermanfaat untuk memulai transmisi segera, daripada menunggu sampai slot dimulai, untuk menghindari pemancar lain yang memulai transmisi pada saluran.

Operasi dalam domain gelombang mm adalah contoh lain dari kegunaan transmisi "mini-slot" karena bandwidth yang tersedia dalam penyebaran seperti itu seringkali sangat besar dan bahkan beberapa simbol OFDM dapat cukup untuk membawa muatan yang tersedia. Ini adalah penggunaan khusus dalam hubungannya dengan beamforming analog, dibahas di bawah, di mana transmisi ke beberapa perangkat di balok yang berbeda tidak dapat multiplexing dalam domain frekuensi tetapi hanya dalam domain waktu.

Tidak seperti LTE, NR tidak menyertakan sinyal referensi spesifik sel tetapi hanya bergantung pada sinyal referensi demodulasi spesifik pengguna untuk estimasi saluran. Hal ini tidak hanya memungkinkan pengoperasian beamforming dan multi-antena yang efisien seperti yang dibahas di bawah ini, tetapi juga sejalan dengan prinsip desain ultra-slim yang dijelaskan di atas. Berbeda dengan sinyal referensi spesifik sel, sinyal referensi demodulasi tidak ditransmisikan kecuali ada data untuk ditransmisikan, sehingga meningkatkan kinerja energi jaringan dan mengurangi interferensi.

Ketika perangkat memasuki keadaan terhubung, ia telah memperoleh informasi dari PBCH tentang set sumber daya kontrol di mana ia dapat menemukan saluran kontrol yang digunakan untuk menjadwalkan informasi sistem yang tersisa (lihat Bab 16 untuk detailnya). Konfigurasi CORESET yang diperoleh dari PBCH juga mendefinisikan dan mengaktifkan bagian bandwidth awal di downlink. Bagian bandwidth uplink aktif awal diperoleh dari informasi sistem yang dijadwalkan menggunakan PDCCH downlink.

Setelah terhubung, perangkat dapat dikonfigurasi dengan hingga empat bagian bandwidth downlink dan hingga empat bagian bandwidth uplink untuk setiap sel yang melayani. Dalam kasus operasi SUL, dapat ada hingga empat bagian bandwidth uplink tambahan pada pembawa uplink tambahan.

Pada setiap sel yang melayani, pada saat tertentu salah satu bagian bandwidth downlink yang dikonfigurasi disebut sebagai bagian bandwidth downlink aktif untuk sel yang melayani dan salah satu bagian bandwidth uplink yang dikonfigurasi disebut sebagai bagian bandwidth uplink aktif untuk melayani sel. Untuk spektrum yang tidak berpasangan, perangkat dapat mengasumsikan bahwa bagian bandwidth downlink aktif dan bagian bandwidth uplink aktif dari sel yang melayani memiliki frekuensi tengah yang sama. Ini menyederhanakan implementasi karena osilator tunggal dapat digunakan untuk kedua arah. GNB dapat mengaktifkan dan menonaktifkan bagian bandwidth menggunakan sinyal kontrol downlink yang sama seperti untuk informasi penjadwalan, sehingga mencapai peralihan cepat antara bagian bandwidth yang berbeda.

Dalam downlink, perangkat tidak dianggap dapat menerima transmisi data downlink, lebih khusus PDCCH atau PDSCH, di luar bagian bandwidth aktif. Selanjutnya, numerologi PDCCH dan PDSCH dibatasi pada numerologi yang dikonfigurasi untuk bagian bandwidth. Jadi, dalam rilis 15, perangkat hanya dapat menerima satu numerologi pada satu waktu karena beberapa bagian bandwidth tidak dapat aktif secara bersamaan. Pengukuran mobilitas masih dapat dilakukan di luar bagian bandwidth aktif tetapi memerlukan celah pengukuran yang serupa dengan pengukuran antar sel. Oleh karena itu, perangkat tidak diharapkan untuk memantau saluran kontrol downlink saat melakukan pengukuran di luar bagian bandwidth aktif.

14.1.3 Tipe I CSI

Ada dua subtype CSI Tipe I, yang disebut sebagai CSI panel tunggal Tipe I dan CSI multi-panel Tipe I, sesuai dengan buku kode yang berbeda. Seperti namanya, buku kode telah dirancang dengan asumsi konfigurasi antena yang berbeda di sisi jaringan/pemancar.

Perhatikan bahwa asumsi konfigurasi antena tertentu saat merancang buku kode tidak berarti bahwa buku kode tidak dapat digunakan dalam penerapan berdasarkan konfigurasi antena yang berbeda. Ketika sebuah perangkat, berdasarkan pengukuran downlink, memilih matriks precoder dari codebook, itu tidak membuat asumsi apapun mengenai konfigurasi antena di sisi jaringan tetapi hanya memilih apa yang diyakini sebagai precoder yang paling cocok di codebook, mengingat saluran yang diperkirakan. kondisi.

14.1.4 Single-Panel CSI

Seperti namanya, buku kode untuk CSI panel tunggal Tipe I dirancang dengan asumsi panel antena tunggal dengan elemen antena terpolarisasi silang $N_1 \times N_2$. Sebuah contoh diilustrasikan pada Gambar 14.2a untuk kasus $(N_1, N_2) = (4, 2)$, yaitu antena 16-port

Secara umum, matriks precoder W dalam buku kode untuk CSI panel tunggal Tipe I dapat dinyatakan sebagai produk dari dua matriks W_1 dan W_2 dengan informasi tentang W_1 dan W_2 yang dipilih dilaporkan secara terpisah sebagai bagian berbeda dari keseluruhan PMI.

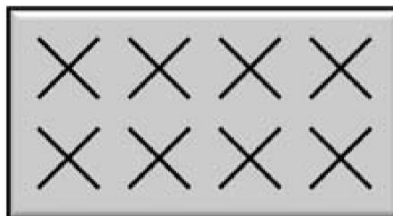
Matriks W_1 diasumsikan untuk menangkap karakteristik frekuensi-independen jangka panjang dari saluran. Oleh karena itu, satu W_1 dipilih dan dilaporkan untuk seluruh bandwidth pelaporan (umpan balik pita lebar).

Sebaliknya, matriks W_2 diasumsikan untuk menangkap karakteristik saluran yang lebih jangka pendek dan berpotensi bergantung pada frekuensi. Oleh karena itu, matriks dapat dipilih dan dilaporkan berdasarkan subband di mana subband mencakup sebagian kecil dari keseluruhan bandwidth pelaporan. Sebagai alternatif, perangkat mungkin tidak melaporkan W_2 sama sekali, dalam hal ini perangkat, ketika memilih CQI, harus mengasumsikan bahwa jaringan secara acak memilih W_2 pada basis per PRG. Perhatikan bahwa ini tidak memberlakukan batasan apa pun pada prakode aktual yang diterapkan di sisi jaringan tetapi hanya tentang asumsi yang dibuat oleh perangkat saat memilih CQI.

Pada tingkat yang tinggi, matriks W_1 dapat dilihat sebagai pendefinisian sebuah balok atau, dalam beberapa kasus, sekumpulan balok tetangga, yang menunjuk ke arah tertentu. Lebih khusus lagi, matriks W_1 dapat ditulis sebagai

$$W_1 = \begin{bmatrix} B & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix}$$

di mana setiap kolom matriks B mendefinisikan balok dan struktur blok 2x2 disebabkan oleh dua polarisasi. Perhatikan bahwa, karena matriks W_1 diasumsikan hanya menangkap karakteristik saluran independen frekuensi jangka panjang, arah pancaran yang sama dapat diasumsikan sesuai dengan kedua arah polarisasi.



Gambar 14.2a Contoh asumsi struktur antena untuk CSI panel tunggal Tipe I dengan $(N_1, N_2) = (4, 2)$

Memilih matriks W_1 atau, secara ekuivalen, B dapat dilihat sebagai memilih arah sinar tertentu dari sekumpulan besar kemungkinan arah sinar yang ditentukan oleh set lengkap matriks W_1 dalam buku kode

Dalam kasus transmisi peringkat 1 atau peringkat 2, baik satu balok atau empat balok tetangga didefinisikan oleh matriks W_1 . Dalam kasus empat balok tetangga, sesuai dengan empat kolom di B , matriks W_2 kemudian memilih balok yang tepat untuk digunakan untuk transmisi. Karena W_2 dapat dilaporkan berdasarkan subband, maka dimungkinkan untuk menyempurnakan arah pancaran per subband. Selain itu, W_2 menyediakan co-phasing antara dua polarisasi. Dalam kasus ketika W_1 hanya mendefinisikan satu balok, sesuai dengan B menjadi matriks kolom tunggal, matriks W_2 hanya menyediakan co-phasing antara dua polarisasi.

Untuk peringkat transmisi R lebih besar dari 2, matriks W_1 mendefinisikan N balok ortogonal di mana $N = \lceil R/2 \rceil$. Balok N , bersama dengan dua arah polarisasi di setiap berkas kemudian digunakan untuk transmisi lapisan R , dengan matriks W_2 hanya menyediakan cophasing antara dua polarisasi. Hingga delapan lapisan dapat ditransmisikan ke perangkat yang sama.

14.1.5 Dukungan Latensi Rendah

Kemungkinan latensi yang sangat rendah merupakan karakteristik penting dari NR dan telah memengaruhi banyak detail desain RN. Dengan menempatkan sinyal referensi dan sinyal kontrol downlink yang membawa informasi penjadwalan pada awal transmisi dan tidak menggunakan interleaving domain waktu melintasi simbol OFDM, perangkat dapat mulai memproses data yang diterima segera tanpa buffering sebelumnya, sehingga meminimalkan penundaan decoding. Kemungkinan untuk transmisi melalui sebagian kecil dari slot, kadang-kadang disebut sebagai transmisi "mini-slot", adalah contoh lain.

Persyaratan pada waktu pemrosesan perangkat (dan jaringan) diperketat secara signifikan di NR dibandingkan dengan LTE. Sebagai contoh, perangkat harus merespon dengan pengakuan hybrid-ARQ sekitar satu slot (atau bahkan kurang tergantung pada kemampuan perangkat) setelah menerima transmisi data downlink. Demikian pula, waktu dari penerimaan hibah hingga transfer data uplink berada dalam kisaran yang sama.

Protokol lapisan yang lebih tinggi MAC dan RLC juga telah dirancang dengan latensi rendah dengan struktur header yang dipilih untuk memungkinkan pemrosesan tanpa mengetahui jumlah data yang akan dikirim (lihat Bab 6). Ini sangat penting dalam arah uplink karena perangkat mungkin hanya memiliki beberapa simbol OFDM setelah menerima hibah uplink hingga transmisi harus dilakukan. Sebaliknya, desain protokol LTE membutuhkan lapisan protokol MAC dan RLC untuk mengetahui jumlah data yang akan dikirim sebelum pemrosesan apa pun dapat dilakukan, yang membuat dukungan untuk latensi yang sangat rendah menjadi lebih menantang.

14.1.6 Tipe II CSI

Seperti yang telah disebutkan, CSI Tipe II memberikan informasi saluran dengan granularitas spasial yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan CSI Tipe I. Mirip dengan CSI Tipe I, CSI Tipe II didasarkan pada pemilihan pita lebar dan pelaporan balok dari kumpulan balok yang besar. Namun, sementara CSI Tipe I pada akhirnya memilih dan melaporkan satu balok, CSI Tipe II dapat memilih dan melaporkan hingga empat balok ortogonal. Untuk setiap berkas yang dipilih dan masing-masing dari dua polarisasi, PMI yang dilaporkan kemudian memberikan nilai amplitudo (sebagian pita lebar dan sebagian subband) dan nilai fase (subband). Pada akhirnya, ini memberikan model saluran yang jauh lebih rinci, menangkap sinar utama dan amplitudo serta fasenya masing-masing.

Di sisi jaringan, PMI yang dikirim dari beberapa perangkat kemudian dapat digunakan untuk mengidentifikasi satu set perangkat yang transmisinya dapat dilakukan secara bersamaan pada satu set sumber daya waktu/frekuensi (MU-MIMO) dan precoder apa yang digunakan untuk setiap transmisi.

Karena CSI Tipe II menargetkan skenario MU-MIMO, transmisi dibatasi hingga dua lapisan per perangkat.

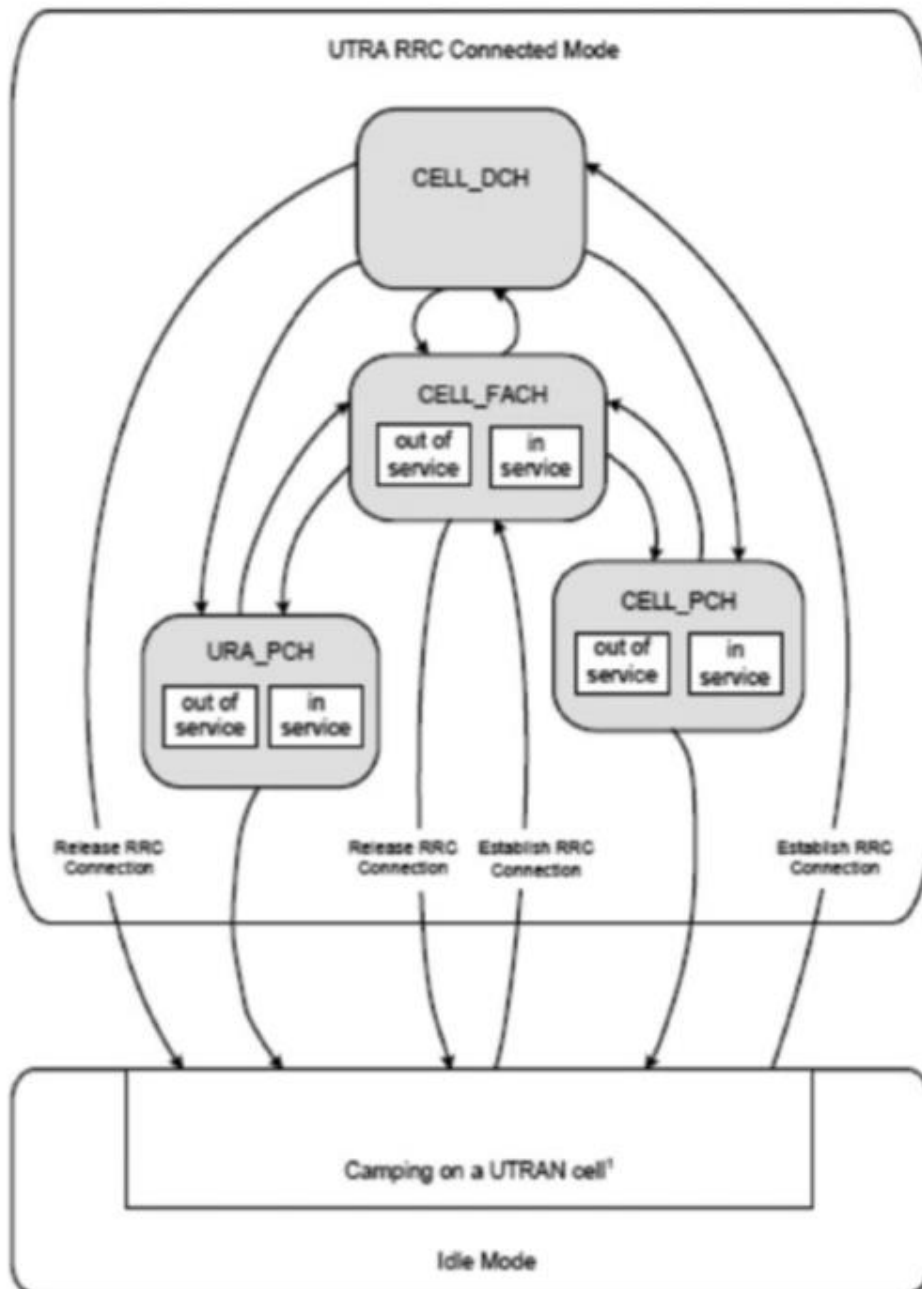
14.2 Jaringan 3G – Teknikalitas Persinyalan

Signaling mengelola sesi data, latihan konektivitas on/off, dan mobilitas, sehingga menempatkan banyak permintaan pada bidang kontrol baik di antarmuka radio maupun di jaringan inti. Perangkat 3G beralih dari status terhubung ke status terputus untuk menghemat baterai. Hal ini menyebabkan inefisiensi karena hanya sejumlah kecil data yang dikirim pada setiap pembukaan/penutupan slot waktu dan CPU di RNC dapat menjadi kelebihan beban [1].

Dalam jaringan 3G UMTS, lapisan RRC menangani pembentukan koneksi, pemeliharaan, dan fungsi pelepasan antara UE dan UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Pengoperasian RRC bergantung pada keadaan di mana setiap keadaan dibedakan dengan jumlah sumber daya radio yang diperlukan untuk berfungsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.3 dan dijelaskan dalam 3GPP TS 25.313. Selama mode siaga, energi paling rendah dikonsumsi dan jaringan dan UE dapat saling melihat tetapi tidak ada komunikasi yang terjadi di antara mereka, sedangkan transfer data hanya dapat dilakukan selama mode terhubung. Deskripsi tingkat tinggi dari empat status RRC adalah sebagai berikut ^[1,2,6–10]:

- Cell_PCH (Paging Channel): Selama keadaan ini, UE memantau jaringan untuk pesan dan menginformasikan jaringan setiap kali pindah ke sel baru. UE tidak mentransfer data dan menghemat energi menggunakan DRX.⁸⁵ Namun, setiap kali UE perlu mengirim pesan “pembaruan sel”, pesan tersebut berubah sementara ke status CELL_FACH. Koneksi kontrol dalam keadaan ini tidak hilang, yaitu UE masih memiliki koneksi RRC tetapi jarang menggunakannya.
- URA_PCH (UTRAN Registration Area Paging Channel): Status ini identik dengan Cell_PCH, kecuali bahwa di URA-PCH, pembaruan hanya dikirim saat UE mengubah URA alih-alih perubahan sel. Selama keadaan ini, UE mentransmisikan bahkan lebih jarang daripada dalam keadaan CELL_PCH.
- Cell_FACH (Saluran Akses Teruskan): Dalam kondisi ini, UE berada dalam mode terhubung menggunakan saluran umum atau saluran bersama. Ini digunakan untuk mengirim/menerima sejumlah kecil data dalam saluran bersama.
- Cell_DCH (Saluran Khusus): Dalam keadaan ini, UE dalam mode terhubung menggunakan saluran khusus untuk transmisi dan penerimaan volume data yang besar. Ini mengkonsumsi daya baterai paling banyak dan kondisi daya penuh.

⁸⁵ Penerimaan Terputus: DRX digunakan oleh UE untuk mengurangi konsumsi daya di UMTS.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)



Gambar 14.3 UTRA RRC mode terhubung. (Dari 3GPP TS 25.331 (V14.3.0) 2010. Radio Resource Control (RRC); Spesifikasi Protokol (Rilis 14) Grup Spesifikasi Teknis Jaringan Akses Radio, 3GPP, Juni. ^[9])

Jaringan menyimpan UE untuk durasi tertentu dalam status Cell_DCH jika ada beberapa informasi lagi yang perlu ditransmisikan. Setelah beberapa waktu tidak aktif, jaringan menempatkan UE dalam status Cell_FACH. Demikian pula, setelah beberapa periode tidak aktif, jaringan mentransisikan UE ke status energi yang lebih rendah (Cell_PCH atau URA_PCH) dan dari sana ke idle. Cell_PCH atau URA_PCH mungkin tidak ada di setiap jaringan ^[6].

Setiap kali UE beralih dari satu keadaan ke keadaan lain, itu menghasilkan lalu lintas pensinyalan. Perjalanan pulang pergi dari idle ke aktif dan kembali ke idle kira-kira memakan waktu 30 pesan dan 2 detik tanpa kehadiran status PCH. Jika status PCH saat ini, maka dapat mengurangi pesan dan durasi menjadi setengah dari ukuran itu. Transisi antar state didasarkan pada ambang waktu tertentu yang dapat diatur. Tujuan utamanya adalah

mengoptimalkan penghitung waktu untuk meningkatkan pengalaman pengguna dan kinerja jaringan [2].

Beberapa solusi telah dirancang dan diimplementasikan untuk mengoptimalkan pensinyalan di jaringan 3G. Beberapa kuncinya adalah sebagai berikut.

Konektivitas Paket Kontinu: Tujuan utama dari fitur ini adalah untuk mengurangi overhead saluran kontrol untuk jenis aplikasi "selalu aktif" dengan bit rate rendah. Ini meningkatkan jumlah pengguna HSPA yang dapat disimpan secara efisien dalam mode aktif (yaitu, status CELL_DCH).

Status Cell_FACH yang Ditingkatkan: Ini memungkinkan UE untuk mengirim sinyal pada HS-DSCH (Saluran Bersama Downlink Kecepatan Tinggi) yang diperlukan untuk memindahkan pengguna dari Cell_FACH ke Cell_DCH. Ini mengurangi waktu penyiapan dan meningkatkan pengalaman pengguna.

UE DRX yang Ditingkatkan: UE DRX diperkenalkan untuk status Cell_FACH di Rel-8. Ini memungkinkan UE untuk membatasi waktu penerimaan downlink dan dengan demikian mengurangi konsumsi baterai dengan memungkinkan UE masuk ke "mode tidur" selama periode waktu ketika penerimaan downlink dibatasi.

Dormansi Cepat: Ini adalah fitur 3GPP Rel-8 di mana UE mengirimkan pesan "Sinyal Indikasi Pelepasan Koneksi" ke jaringan dengan elemen informasi "Penyebab Indikasi Rilis Koneksi Penandaan" yang ada dan disetel ke "Sesi Data PS yang Diminta UE berakhir." Pada saat ini, jaringan kemudian dapat memutuskan untuk tidak melakukan apa-apa, melepaskan ponsel ke idle atau menempatkan koneksi ke status Cell_/URA_PCH. Evolusi telah menuju dormansi cepat yang dikendalikan jaringan yang diaktifkan di kedua jaringan dan ponsel. Motivasi utama - untuk mengurangi overhead jaringan untuk bertukar pesan sinyal dengan UE dan konsumsi baterai UE [9,11].

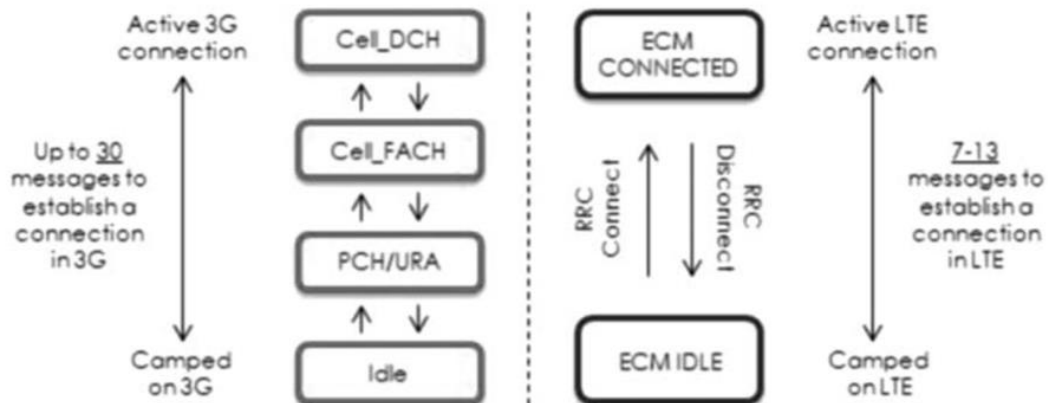
14.3 Jaringan LTE – Teknikalisa Sinyal dalam LT

LTE menawarkan peningkatan melalui 3G untuk menangani lalu lintas pensinyalan dalam berbagai cara. Namun, penggunaan bearer khusus yang lebih tinggi dan campuran aplikasi yang lebih kaya telah menghasilkan lebih banyak tantangan terkait pensinyalan [1].

Untuk meningkatkan praktik pensinyalan 3G, LTE dirancang hanya dengan dua status RRC dengan transisi status yang lebih sedikit di antara keduanya. Gambar 14.4 menunjukkan model keadaan LTE yang disederhanakan di mana radio aktif atau tidak aktif dibandingkan dengan model UMTS 3G yang kompleks. Status aktif dikenal sebagai ECM-Connected (dalam MME) dan RRC_Connected (dalam eNodeB) dan idle masing-masing dikenal sebagai ECMIDLE dan RRC-IDLE. Status ECM menggambarkan konektivitas pensinyalan antara UE dan EPC. Secara keseluruhan, ini membutuhkan jauh lebih sedikit perpesanan daripada 3G yang menghasilkan waktu penyiapan yang lebih singkat (latensi lebih rendah) dan pengalaman pengguna yang lebih baik, namun, masih ada tantangan.

Tantangannya adalah bahwa setiap transisi aktif-idle di LTE masih menghasilkan peristiwa pensinyalan antara perangkat, eNodeB, dan EPC. Ini karena prosedur pembuatan/pelepasan koneksi S1 (antarmuka antara eNodeB dan MME) diperlukan selama setiap transisi. LTE membutuhkan 10 pesan dibandingkan dengan 30 pesan 3G yang diperlukan untuk membuat sambungan. Situasi menjadi lebih bermasalah untuk layanan yang dipicu jaringan yang mungkin memerlukan 15–23 pesan karena perangkat harus di-page terlebih dahulu dan

ditempatkan sebelum koneksi dapat dibuat. Timer untuk S1, yang dapat dikonfigurasi, menjadi kritis dan memerlukan perencanaan dan pengoptimalan yang cermat ^[1].



Gambar 14.4 3G UMTS dan model status LTE. (Dari Gabriel, B. 2012. Evolusi Tantangan Pensinyalan di Jaringan 3G & 4G. Bacaan Berat, Juni. ^[1])

Alasan utama lainnya untuk pensinyalan yang lebih sedikit di LTE adalah bahwa kontrol akses di 3G ditangani oleh RNC yang mengelola banyak UE sementara kontrol akses di LTE ada di eNodeB yang menangani lebih sedikit terminal. Dengan demikian, lalu lintas sinyal dapat dianggap tidak terlalu bermasalah di LTE, namun daya baterai masih menjadi perhatian. Last but not least adalah kehadiran sembilan pembawa berbeda (setara dengan sembilan konteks PDP di 3G), yang semuanya mungkin aktif pada saat yang sama di perangkat yang sama. Dengan demikian, itu akan melipatgandakan pensinyalan secara proporsional dengan jumlah pembawa dan frekuensi pengaturannya bersama dengan pembawa EPS default yang merupakan keharusan. Misalnya, VoLTE memiliki jenis pembawanya sendiri dan akan mendorong permintaan pensinyalan yang berbeda. Namun, dalam praktiknya, 3-5 pembawa biasanya aktif dalam jaringan ^[1,12-14].

Teknik utama untuk mengurangi pensinyalan dan konsumsi daya termasuk node MME/SGSN tunggal, DRX, dan DRA (Dynamic Routing Agent).

Node MME/SGSN Tunggal: Elemen penting yang terlibat dalam serah terima UMTS/LTE adalah SGSN dan MME yang menangani komunikasi untuk mengalihkan sesi saat pengguna berpindah antara LTE dan 3G. Ini melibatkan jumlah pensinyalan yang wajar yang terjadi melalui S3 (antarmuka antara SGSN dan MME). Untuk mengoptimalkan proses, produk gabungan SSGN-MME (dijelaskan dalam Bab 7) telah ditawarkan yang menginternalisasi antarmuka S3 dan mengurangi beban pensinyalan ^[1].

Manajemen Area Paging dan Pelacakan: Paging diperlukan untuk menemukan UE di jaringan saat dalam keadaan idle karena lokasi tepatnya di jaringan tidak diketahui. Prosedur paging adalah sinyal pesan yang terjadi di antara UE, eNodeB, dan MME. Dapat dicatat bahwa di LTE, lalu lintas pensinyalan yang dihasilkan oleh paging MME UE adalah signifikan (25–35% dari total pensinyalan MME). Meskipun tidak sepenting proses paging MME, prosedur Tracking Area Update (TAU) adalah sumber pembangkitan sinyal lainnya di LTE. Jenis pembangkitan sinyal ini terjadi ketika sering terjadi perpindahan UE dari satu TA⁸⁶ lainnya atau ketika timer TAU periodik berakhir.

⁸⁶ TA (area pelacakan) mewakili sekelompok sel yang berdekatan dalam E-UTRAN yang digunakan oleh MME untuk melacak dan menemukan UE saat dalam mode siaga saat bergerak melalui jaringan. Daftar TA adalah *Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)*

Teknik telah diterapkan untuk mengatasi tantangan pensinyalan yang terkait dengan proses ini. Pensinyalan terkait paging dapat dikurangi dengan menyesuaikan kebijakan/algorithm paging untuk setiap jenis layanan. Beban pensinyalan MME juga dapat dikurangi dengan menggunakan teknik manajemen daftar TA dinamis. Teknik ini dapat mengoptimalkan jumlah area pelacakan dalam daftar UE TA dengan memantau pola siklusnya. Pembaruan reguler dan optimalisasi daftar UE TA mengurangi jumlah permintaan TAU yang perlu dibuat, mengurangi efek toggling pada batas TA, dan menurunkan konsumsi baterai [8].

DRX: LTE menggunakan mekanisme penerimaan terputus-putus, membuat UE hanya aktif secara berkala untuk menerima atau mengirimkan data guna menghemat daya baterai. 3GPP telah menetapkan parameter siklus DRX pendek dan siklus DRX panjang yang memungkinkan perangkat LTE memasuki status siaga dengan cepat setelah transmisi data selesai. Konfigurasi DRX (pendek dan panjang) dapat dibedakan berdasarkan jenis layanan dan UE untuk meminimalkan konsumsi daya.

Diameter versus DRA: Diameter adalah protokol vital untuk LTE dan digunakan pada banyak antarmuka. Namun, jika diimplementasikan secara tidak efisien, hal itu dapat mengakibatkan pesan berdiameter besar pada node yang bersangkutan. Untuk mengelola ini, operator menambahkan DRA sebagai bagian dari inti sinyal generasi berikutnya. Dapat dicatat juga bahwa arsitektur yang memungkinkan diameter menjadi semakin kompleks seiring dengan penambahan node baru. DRA di sisi lain bertindak sebagai titik pusat di mana semua node terhubung memungkinkan penyeimbangan beban dan perutean yang dioptimalkan. DRA lebih masuk akal bagi operator yang memiliki paket LTE/LTE-Advanced yang cepat dan luas. Untuk operator yang secara perlahan beralih ke LTE, investasi pada DRA dapat ditunda dan kemampuan diameter dapat digunakan pada fase transisi.

Pensinyalan di Masa Depan: Akan ada sekitar 3 miliar pelanggan LTE pada pertengahan 2018 di seluruh dunia, dan angka ini diperkirakan akan mencapai 5 miliar pada tahun 2021. Mempertimbangkan pengaturan koneksi data tunggal untuk 50% langganan secara bersamaan dapat menghasilkan sekitar 25 miliar pesan.

Kami berasumsi 5G juga akan memiliki dua status yang sama (idle dan terhubung) seperti LTE, tetapi setengah dari jumlah pesan yang diperlukan (yaitu ~ 5 pesan) untuk menyiapkan koneksi. Pada tahun 2022, diperkirakan akan ada 500 juta perangkat 5G. Dengan asumsi 50% dari perangkat ini menyiapkan koneksi secara bersamaan, itu berarti 1,25 miliar pesan dapat dihasilkan.

Selain itu, mungkin ada 15,5 miliar perangkat IoT yang beroperasi menggunakan teknologi radio nonseluler tanpa izin⁸⁷ seperti WiFi, Bluetooth, dan ZigBee dengan jangkauan tipikal hingga 100 m.

Singkatnya, ini menyiapkan panggung untuk badai sinyal yang hampir sempurna untuk masa depan.

sekelompok TA yang berdekatan yang dikelola oleh MME dan dikirim secara berkala ke UE. MME mengirimkan pesan paging ke sel yang termasuk dalam daftar TA atau TA di mana UE terdaftar. Prosedur TAU dapat menghasilkan banyak pensinyalan jika UE bergerak di sepanjang perbatasan antara TA yang tidak semuanya merupakan bagian dari daftar TA-nya, terutama ketika ukuran TA besar (misalnya, 50-100 eNodeB dalam satu TA). Ini dikenal sebagai efek "toggling" karena beberapa registrasi dengan MME yang terjadi saat UE bergerak masuk dan keluar dari batas TA yang menghasilkan sinyal TAU tambahan [8].

⁸⁷ Mungkin termasuk LAN fixed line dan teknologi powerline tertentu.

14.4 Catatan Penutup 1

Di tahun-tahun mendatang, IoT dan media sosial akan menjadi lebih berpengaruh sehingga menghasilkan koneksi yang lebih singkat dan, oleh karena itu, beban sinyal yang signifikan pada jaringan 4G LTE. LTE memiliki keunggulan yang melekat pada 3G, terutama dalam desain radio, tetapi ini saja tidak akan mengatasi masalah secara efektif. Untuk mengurangi beban pensinyalan, semua pemain (operator, vendor jaringan, perancang perangkat dan chipset, serta pengembang aplikasi) harus memainkan perannya masing-masing.

Banyaknya sel kecil dan IoT siap untuk menciptakan badai pensinyalan yang lebih parah dan sempurna di jaringan 5G. Teknik yang kuat perlu dikembangkan untuk menghindari potensi bencana ini. Akhirnya, industri harus bekerja sama untuk menghentikan badai pensinyalan berikutnya yang terjadi di jaringan 4G/5G.

14.5 Hyoerdense HetNet

HetNet adalah jaringan yang terdiri dari berbagai teknologi akses nirkabel dan tipe sel yang masing-masing memiliki kemampuan, kendala, dan fungsi operasi yang berbeda. Ini terdiri dari campuran sel makro, sel mikro, dan node berdaya rendah seperti picocell dan femtocell dengan tujuan untuk membawa jaringan lebih dekat ke pengguna akhir^[15-25]. Contoh HetNet ditunjukkan pada Gambar 14.5.

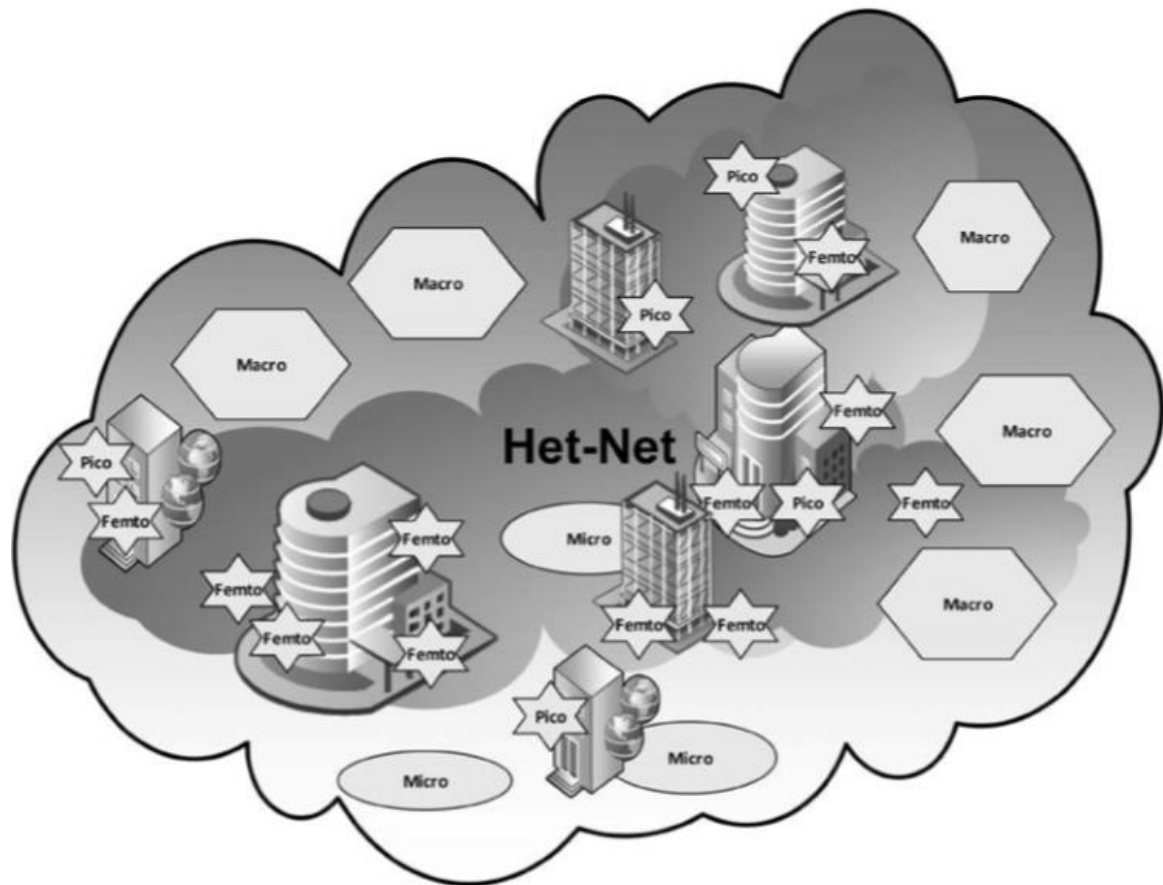
Konsep HetNet diperkenalkan selama standarisasi teknologi 4G (LTE-Advanced) dan diskusi sedang berlangsung untuk memasukkan HetNets ke dalam 5G. HetNets telah digunakan untuk mengatasi tuntutan cakupan dan kapasitas dengan biaya yang efektif. Penggerak utama di balik penggunaan HetNets adalah keyakinan bahwa menambahkan sel kecil ke grid sel makro adalah salah satu solusi terbaik untuk mengatasi tuntutan data nirkabel dan memang sampai batas tertentu.

HetNets saat ini sedang mengembangkan apa yang disebut sebagai jaringan hyperdense. Jaringan hyperdense adalah jaringan di mana sejumlah besar sel kecil dikerahkan per kilometer persegi, biasanya di wilayah geografis terbatas, dan biasanya dengan sejumlah besar operator. Tidak ada konsensus tentang jumlah sel kecil yang akan membuat jaringan menjadi jaringan yang sangat padat, tetapi akan mencapai 100-an. Dalam skenario seperti itu, perangkat seluler dapat terhubung ke beberapa stasiun pangkalan atau setidaknya sering memiliki stasiun pangkalan untuk dirinya sendiri. Ini membutuhkan perubahan paradigma dalam desain jaringan 5G masa depan di mana sel-sel kecil akan ditemukan dalam jumlah besar.

Jaringan 5G yang sangat padat akan semakin memperburuk tantangan HetNet yang ada dan mungkin juga membawa tantangan baru. Bagian ini terutama membahas backhaul utama, manajemen mobilitas, penempatan situs, dan tantangan keamanan.

Backhaul: Backhaul membutuhkan ketersediaan media dan tenaga yang sesuai di tempat, waktu, dan biaya yang tepat. Misalnya, menjalankan kabel serat optik ke tiang lampu (menghosting picocell) bisa mahal meskipun jaraknya hanya beberapa ratus kaki.

Backhaul seluler saat ini biasanya disediakan melalui radio gelombang mikro garis pandang, Ethernet, serat, tembaga, dan saluran sewa pihak ketiga. Namun, untuk sel kecil, akses ke jaringan kabel seperti DSL dan kabel juga akan diperlukan (Gambar 14.6). Masalahnya semakin buruk di negara-negara yang memiliki infrastruktur DSL yang lemah, sehingga menunda penyebaran sel kecil.



Gambar 14.5 Tipikal HetNet

Semakin banyak sel kecil yang terletak berdekatan satu sama lain membuat backhaul lebih menantang. Persyaratan backhaul akan menjadi lebih rumit dengan HetNets hyperdense, sehingga berikut ini dapat dipertimbangkan:

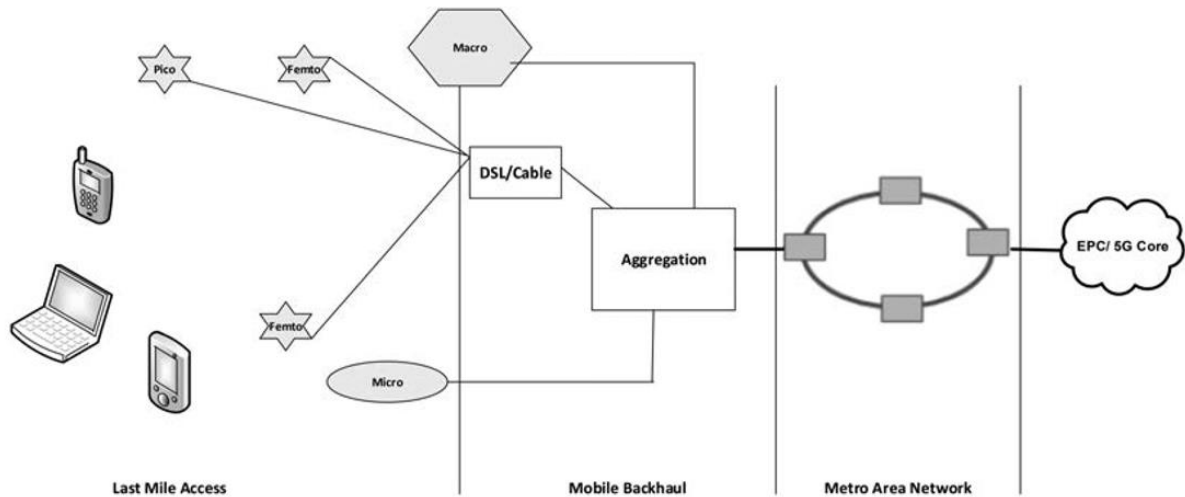
- Penggunaan perjanjian standar dengan penyedia serat/tembaga
- Penggunaan model kemitraan dengan penyedia serat
- Penggunaan model kompresi lalu lintas yang lebih baik pada infrastruktur tembaga yang ada saat serat tidak tersedia atau biaya mahal

Singkatnya, satu ukuran cocok untuk semua tidak akan berfungsi dan kombinasi teknologi nirkabel dan kabel akan digunakan untuk mengatasi masalah tersebut.

Manajemen Mobilitas: Tantangan terkait mobilitas serupa seperti di jaringan makro seperti serah terima antarsel dan mobilitas mode siaga. Namun, dengan sel kecil, frekuensi serah terima dan perubahan status ini (seperti yang dijelaskan di bagian badai pensinyalan) menjadi cukup tinggi. Ini meningkatkan kemungkinan kegagalan serah terima bersama dengan pemutusan sesi pengguna. Hal ini dapat dikurangi dengan menjaga agar UE berkecepatan tinggi tetap diasingkan pada lapisan sel makro, tetapi untuk mencapainya memerlukan pengaturan lalu lintas berbasis kecepatan yang merupakan tantangan.

3GPP TR 36.839^[19] menunjukkan bahwa dalam sebuah HetNet, mobilitas keluar dari sel kecil memiliki tingkat kegagalan yang relatif lebih tinggi daripada jenis mobilitas HetNet lainnya. Secara khusus, tingkat kegagalannya tinggi untuk perangkat yang bergerak cepat (60 mph atau

lebih). Studi juga menunjukkan bahwa selain tingkat kegagalan serah terima yang lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan berbasis sel makro pada kecepatan tinggi, efek ping-pong (keluar dan kemudian masuk kembali ke sel yang sama) sebenarnya lebih buruk dengan mobilitas rendah. Jadi, di HetNets ada kebutuhan untuk memiliki mekanisme berbasis kecepatan untuk meningkatkan ketahanan mobilitas.



Gambar 14.6 HetNet Backhaul

Penempatan Situs: Perbedaan nyata dalam lingkungan HetNet adalah penempatan BTS dan cakupannya yang sesuai. Sel makro biasanya dimodelkan pada kisi heksagonal dan ditempatkan di tanah. Sel kecil diperlukan untuk ditempatkan di lokasi yang lebih tepat (seperti di tiang lampu, atap, tempat parkir, dll.) daripada sel makro, sehingga kurang fleksibel dalam memilih lokasi dan mendapatkan akses ke sana. Ini membutuhkan teknik pemasangan yang lebih hemat biaya pada struktur yang ada sambil mempertahankan rasa estetika, proses yang disederhanakan untuk akses ke situs, dan proses akuisisi situs jalur cepat yang memungkinkan persetujuan untuk kelompok sel kecil.

Perencanaan lokasi yang baik dan akurat untuk sel kecil diperlukan untuk memaksimalkan kapasitas. Hasil lokasi lalu lintas terbaik saat ini disediakan oleh solusi berbasis jaringan yang dapat menentukan posisi UE dalam beberapa meter. Untuk lingkungan HetNet, selain metode tradisional, penting untuk mengidentifikasi keandalan jaringan kabel dan metode untuk mengurangi pengujian hard disk dan mengoptimalkan kapasitas.

Manajemen kapasitas di HetNets mirip dengan jaringan makro multi-RAT saja. Dengan multiRAT HetNet, UE selama keputusan berkemahnya perlu memilih RAT dan juga memilih antara lapisan sel makro dan kecil. Proses ini perlu dikendalikan secara optimal untuk mencapai distribusi beban yang optimal dan peningkatan kapasitas.

Di HetNets, downlink dan uplink dapat dianggap sebagai jaringan yang terpisah karena asimetri antara keduanya berpotensi jauh lebih tinggi daripada di jaringan makro. Misalnya, area cakupan sel femto mungkin terbatas pada satu rumah atau bahkan beberapa bagian dari satu lantai dari satu bangunan. Ini akan membutuhkan model yang berbeda untuk interferensi, asosiasi sel, dan throughput. Menariknya, pendekatan suboptimal yang sangat sederhana yang dikenal sebagai biasing lebih disukai oleh industri. Dalam biasing, BTS kecil lebih disukai oleh beberapa jumlah yang dikenal sebagai nilai bias, untuk memperhitungkan fakta bahwa mereka dimuat dengan ringan; maka asosiasi maks-SIRN yang biasa digunakan dengan SIRN

yang bias. Lebih banyak pekerjaan diperlukan untuk lebih memahami cara mengoptimalkan (dan mengadaptasi) biasing untuk HetNets, terutama di bawah model pemuatan yang realistis dan beragam jenis lalu lintas (misalnya, menyeimbangkan QoS untuk data, VoIP, dan streaming video).

Tantangan Keamanan: HetNet menghadirkan sejumlah tantangan keamanan tambahan yang bersifat fisik serta terkait dengan informasi. Sel kecil dapat dengan mudah dirusak dan berpotensi dikompromikan oleh orang yang tidak berwenang karena ini terutama digunakan di area publik. Jadi pengukuran akses yang kuat perlu ditempatkan untuk mencegah penyalahgunaan unit.

14.6 Catatan Penutup 2

HetNets akan/akan berperan penting dalam memenuhi kebutuhan cakupan dan kapasitas jaringan data centric yang semakin meningkat dengan biaya dan cara yang efisien secara operasional. HetNets juga dapat membuat pengalaman pelanggan secara keseluruhan lebih lancar dan lebih dapat diprediksi. HetNets akan terus berkembang dalam 3GPP untuk teknologi LTE dan 5G untuk memenuhi tantangan penerapan dan operasional jaringan ini. Namun, HetNets membawa tantangan baru seperti yang diidentifikasi di bagian ini yang membutuhkan solusi hemat biaya.

Munculnya 5G akan membawa heterogenitas jaringan ke tingkat yang jauh lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh keberadaan sel kecil yang lebih besar, kombinasi pita frekuensi, dan teknologi radio/transmisi. Dengan demikian, perangkat akan memiliki lebih banyak pilihan opsi konektivitas yang memiliki karakteristik berbeda dalam hal kualitas layanan, konsumsi daya, penagihan, dan sebagainya. Oleh karena itu, HetNets dengan 5G akan menghadirkan sejumlah tantangan sekaligus peluang bagi pengguna dan penyedia layanan.

Komunikasi D2D

Komunikasi D2D adalah metode berbagi informasi dua arah antar perangkat baik dengan berbagi spektrum seluler berlisensi dengan komunikasi seluler atau dengan menggunakan spektrum tidak berlisensi seperti yang dinyatakan dalam bab 12. Komunikasi D2D mempromosikan layanan daya rendah, kecepatan data tinggi, dan latensi rendah antara pengguna akhir melalui saluran peer to peer. Kanal ini memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan kanal seluler konvensional model propagasi yang ada. Salah satu perbedaannya adalah ketinggian terminal, yaitu, dalam model saat ini, salah satu ujung tautan terletak lebih tinggi dari ujung tautan lainnya. Di D2D, asimetri seperti itu tidak ada. Hal ini berdampak pada setidaknya path loss dan shadowing. Perbedaan utama lainnya antara model seluler dan D2D adalah bahwa dalam D2D kedua ujung tautan dapat bergerak, sedangkan dalam model seluler, stasiun pangkalan statis. Ini berdampak pada evolusi temporal saluran dan arsitektur D2D secara keseluruhan ^[26].

Beberapa tantangan utama dan solusi terbatas adalah sebagai berikut.

Kontrol Daya, Alokasi Sumber Daya, dan Manajemen Interferensi: Kontrol daya dan alokasi sumber daya koneksi D2D dapat ditentukan secara distributif oleh UE itu sendiri atau dilakukan secara terpusat oleh stasiun pangkalan. Yang terakhir adalah kasus terkenal yang dilakukan dalam sistem 3G dan LTE (bukan dalam hal komunikasi D2D) di mana sumber daya khusus atau bersama dialokasikan untuk meminimalkan gangguan. Dalam kasus sebelumnya,

sumber daya khusus harus dialokasikan ke semua koneksi D2D secara statis atau semi-statis sehingga tidak ada gangguan yang terjadi di jalur koneksi seluler.

Di bawah komunikasi D2D inband, UE dapat menggunakan kembali sumber daya uplink/downlink yang sama yang digunakan untuk komunikasi seluler reguler di sel yang sama. Oleh karena itu, penting untuk merancang mekanisme D2D sedemikian rupa sehingga pengguna D2D tidak mengganggu layanan seluler. Manajemen interferensi biasanya ditangani oleh skema alokasi daya dan sumber daya, meskipun karakteristik interferensi D2D belum dipahami dengan baik [27]. Penelitian signifikan telah dilakukan pada alokasi sumber daya terpusat dan algoritma kontrol daya mempertimbangkan interferensi timbal balik antara D2D dan koneksi seluler, di mana komunikasi D2D dianggap sebagai dasar untuk jaringan LTE-Advanced [28-31].

Dalam D2D inband, daya transmisi harus diatur dengan benar sehingga pemancar D2D tidak mengganggu komunikasi UE seluler sambil mempertahankan persyaratan SIRN minimum penerima D2D. Dalam D2D outband, interferensi antara D2D dan pengguna seluler tidak menjadi perhatian. Oleh karena itu, alokasi daya mungkin tampak tidak relevan di D2D outband. Namun, dengan peningkatan okupansi band ISM, alokasi daya yang efisien menjadi penting untuk menghindari kemacetan, masalah tabrakan, dan interferensi antar sistem.

Interferensi dapat dikelola secara efisien jika pengguna D2D berkomunikasi melalui blok sumber daya yang tidak digunakan oleh UE seluler terdekat yang mengganggu. Ini dapat dengan mudah dilakukan dalam D2D inband overlay di mana bagian dari sumber daya seluler didedikasikan untuk komunikasi D2D. Namun, ini akan menjadi tantangan dalam D2D inband underlay di mana keduanya berbagi sumber daya yang sama. Alokasi sumber daya untuk D2D outband hanya terdiri dari menghindari band ISM yang saat ini digunakan oleh pengguna D2D lain, hotspot WiFi, dan sebagainya [27].

Manajemen Energi: Komunikasi D2D berpotensi menurunkan efisiensi energi UE, karena UE D2D harus mendengarkan tidak hanya BS tetapi juga rekan-rekannya. Jika protokol penemuan perangkat memaksa UE untuk bangun sangat sering untuk mendengarkan permintaan pasangan atau untuk sering mengirimkan pesan penemuan, masa pakai baterai UE dapat berkurang secara signifikan. Dengan demikian, trade-off antara konsumsi daya UE dan kecepatan penemuan UE perlu dipelajari lebih lanjut [27].

Manajemen Arsitektur dan Mobilitas: Penting untuk menyelidiki bagaimana arsitektur komunikasi 5G di masa depan akan terlihat untuk mengatasi tantangan ini. Namun demikian, 3GPP telah menyediakan dokumen persyaratan teknis tetapi bukan standar formal (spesifikasi teknis) pada arsitektur D2D.

Banyak makalah penelitian telah dihasilkan pada dua aspek manajemen mobilitas D2D. Misalnya, dalam [32], dua mekanisme manajemen mobilitas telah diusulkan untuk mengurangi latensi dan overhead pensinyalan. Dalam proposal D2D-Aware Handover, disarankan agar pasangan D2D dikontrol oleh BS yang sama. Jika salah satu UE mulai bergerak dan mendapatkan SIRN yang lebih baik dari BS2 terdekat, penulis menyarankan agar UE tidak melakukan serah terima dan alih-alih bersama kedua UE terjadi ketika kondisinya membaik. Dalam kasus kedua, yang disebut sebagai proposal Serah Terima yang Dipicu D2D, penulis menyarankan untuk mengelompokkan anggota grup D2D dalam jumlah minimum sel atau BS. Ini akan mengurangi overhead signaling jaringan yang disebabkan oleh pertukaran informasi antar-BS, seperti yang terkait dengan penggunaan sumber daya radio D2D. Solusi ini menargetkan skenario di mana grup D2D secara dinamis dibentuk oleh lebih dari dua UE D2D.

Solusinya dapat diterapkan ketika UE D2D yang mengambil bagian dalam grup D2D bervariasi dalam waktu, misalnya, karena mobilitas.

Kedua proposal memiliki kelemahan. Dalam kasus sebelumnya, kekakuan yang kuat pada BS1 akan meningkatkan pertukaran informasi antar-BS, dan yang terakhir, itu akan memberi tekanan pada persyaratan backhaul.

Teoretis, Simulasi, dan Test Bed: Kurangnya test bed eksperimental (lab) yang mendukung D2D dan simulator populer saat ini seperti OPNET (Optimized Network Engineering Tools), Omnet++ (Objective Modular Network Testbed di C++), NS3 (simulator jaringan) tidak mendukung komunikasi D2D.

Catatan Penutup 3

Komunikasi D2D yang dikendalikan operator harus memungkinkan operator untuk mengontrol jaringan mereka untuk memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik dan menghasilkan keuntungan yang sesuai. Pada saat yang sama, mereka harus fleksibel dan berbiaya rendah untuk bersaing dengan komunikasi D2D gratis (outband). Operator masih menghadapi beberapa tantangan dalam menyediakan solusi D2D yang dapat mengatasi dua tujuan yang bertentangan di atas secara bersamaan ^[33,34].

Intinya, banyak pekerjaan yang harus dilakukan untuk membuat D2D menjadi kenyataan.

14.9 Big Data

Data besar adalah salah satu topik terpanas di industri dan akademisi dengan banyak sekali laporan dan makalah. Ini melintasi banyak industri termasuk IT, Telecom, penyedia konten, penyedia media sosial, pemerintah, dan sebagainya. Fokus pada bagian ini terutama pada tantangan besar yang dihadapi dunia pada umumnya dalam penemuan ini ^[35-42].

Data besar adalah istilah yang diterapkan pada kumpulan data di mana ukurannya berada di luar kemampuan perangkat lunak yang biasa digunakan untuk menangkap, mengelola, dan memproses. Istilah big data cenderung digunakan dalam berbagai cara, sering kali mengacu pada jenis data yang dikelola serta teknologi yang digunakan untuk menyimpan dan memprosesnya.

Data berasal dari mana-mana, sensor yang digunakan untuk mengumpulkan informasi iklim, posting di situs media sosial, gambar digital dan video yang diposting online, catatan transaksi pembelian online, dan dari sinyal GPS ponsel untuk beberapa nama. Ini dan jumlah serupa dari data digital yang tersedia di tingkat global tumbuh dari 150 Exabytes (10006) pada tahun 2005 menjadi 1200 Exabytes pada tahun 2010. Diperkirakan akan menjadi lebih dari 35 Zettabytes (10007) pada tahun 2020, dari kurang dari 1 Zettabytes⁸⁸ pada tahun 2009. Ada variasi dalam perkiraan data besar, namun, ini semua memprediksi pertumbuhan yang sangat tinggi di tahun-tahun mendatang. Dunia data besar semakin ditentukan oleh 4 'Vs', yaitu, 'Vs' ini menjadi ujian yang masuk akal apakah pendekatan data besar adalah yang tepat untuk diadopsi untuk kumpulan data tertentu. Vs termasuk volume (jumlah atau besarnya data), kecepatan (kecepatan di mana data input atau output), variasi (rentang tipe data, struktur, dan sumber) dan kebenaran (keakuratan dan kegunaan kontekstual (nilai) dari data).

⁸⁸ 1 Zettabyte adalah 1 triliun gigabyte atau setara dengan 250 miliar DVD (Digital Video Disc).
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

Teknologi big data dominan yang digunakan secara komersial untuk pemrosesan adalah database Hadoop dan No-SQL⁸⁹ Apache. Rincian kedua teknologi ini dapat ditemukan di [35–42].

Bidang data besar menghadapi beberapa tantangan; beberapa berhubungan dengan akuisisi data, privasi, dan keamanan dan yang lainnya dengan analisisnya.

Privasi dan Keamanan Cyber: Privasi adalah masalah yang paling sensitif, dengan implikasi konseptual, hukum, dan teknologi. Bagaimana data dapat diperoleh dan disajikan, apa yang dapat dibagikan, dan dengan siapa data tersebut dapat dibagikan, adalah beberapa pertanyaan kritis yang tidak memiliki jawaban yang mudah. Privasi adalah masalah menyeluruh yang memiliki berbagai implikasi bagi siapa saja yang ingin menjelajahi penggunaan big data untuk pengembangan—berhadapan dengan akuisisi, penyimpanan, retensi, penggunaan, dan presentasi data.

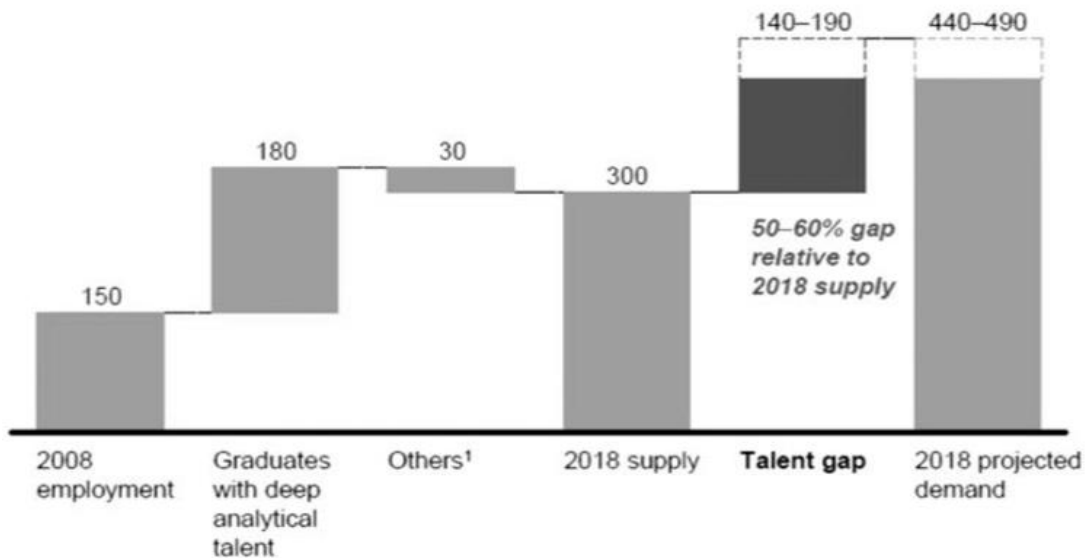
Keamanan dunia maya adalah tantangan lain yang membutuhkan perhatian terus-menerus karena teknologi manajemen data yang terus berubah dan keragaman analitik data. Data besar sampai batas tertentu adalah pedang bermata dua untuk keamanan siber sistem. Di satu sisi, fitur analitiknya yang unik dapat membantu organisasi meningkatkan dan memperluas fungsi sistem keamanan siber mereka; di sisi lain, bagaimanapun, ketersediaan dan aksesibilitas sejumlah besar data real-time dari sumber yang berbeda menciptakan risiko baru intrusi sistem.

Kebijakan Data: Karena semakin banyak data digital bergerak di seluruh organisasi, menjadi penting untuk menyusun serangkaian kebijakan tentang topik-topik seperti privasi, keamanan, kekayaan intelektual, dan kewajiban. Big data menimbulkan sejumlah masalah hukum, khususnya ketika dapat disalin dan digabungkan dengan data lain dan mungkin melibatkan dua negara atau lebih. Bagian data yang sama dapat digunakan secara bersamaan oleh lebih dari satu orang. Semua ini adalah karakteristik unik data dibandingkan dengan aset fisik, yang menimbulkan sejumlah pertanyaan terkait hak kekayaan intelektual dan penggunaan wajar.

Akuisisi Data: Mendapatkan akses ke data dan mengoreksi data sangat penting bagi perusahaan untuk berhasil. Dalam beberapa kasus, organisasi akan dapat membeli akses ke data. Namun, dalam kasus lain, mendapatkan akses ke data pihak ketiga seringkali tidak mudah karena insentif ekonomi mungkin melarang pemangku kepentingan untuk berbagi data. Pemangku kepentingan yang memiliki kumpulan data tertentu mungkin menganggapnya sebagai sumber keunggulan kompetitif utama dan dengan demikian akan enggan membaginya dengan pemangku kepentingan lainnya. Organisasi yang mencari data mungkin harus menemukan cara untuk menawarkan proposisi nilai yang menarik kepada pemegang data berharga.

Struktur Industri: Sektor publik menghadapi hambatan yang lebih sulit daripada sektor lain dalam hal menangkap nilai potensial dari penggunaan data besar. Alasan utamanya adalah birokrasi, birokrasi, kurangnya transparansi, dan kurangnya tekanan persaingan. Sektor swasta yang rakus keuntungan mencari cara baru untuk menangani data besar dengan segala cara.

⁸⁹ NoSQL atau Tidak Hanya database SQL yang banyak digunakan dalam aplikasi data besar.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)



Gambar 14.7 Kesenjangan permintaan-pasokan untuk ilmuwan data dan manajer data di AS pada tahun 2018. (Dari James, M. et al. 2011. Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity. McKinsey & Company—McKinsey Global Institute ^[42].)

Tantangan Organisasi: Big data membawa sejumlah tantangan organisasi termasuk ketersediaan bakat, pola pikir kepemimpinan, anggaran, dan lainnya.

- **Bakat:** Bakat di arena ini sangat langka dan tidak mudah untuk menemukan banyak ilmuwan data yang berkualitas, misalnya, dibandingkan dengan menemukan insinyur RF. Seorang ilmuwan data adalah kata buzz tanpa definisi konkret. Menurut laporan McKinsey Global Institute 2011, A.S. sendiri mungkin menghadapi kesenjangan 50% hingga 60% antara pasokan dan permintaan yang diperlukan dari bakat analitik mendalam dan manajer data, masing-masing, pada tahun 2018 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.7. Untuk mengisi kesenjangan ini, sejumlah universitas telah mulai menawarkan pelatihan formal atau gelar analitik lanjutan. Di sisi lain, perusahaan juga mencari opsi crowdsourcing, di mana layanan, ide, atau konten yang dibutuhkan diperoleh dengan meminta kontribusi dari sejumlah besar pakar, terutama dari komunitas online, bukan dari karyawan atau pemasok tradisional. Crowdsourcing membantu organisasi yang tidak mampu mempekerjakan atau tidak perlu mempekerjakan ilmuwan data penuh waktu untuk memecahkan masalah mereka; itu mengambil keuntungan dari kebijaksanaan dari kumpulan ilmuwan data yang sangat besar untuk menemukan solusi terbaik untuk masalah mereka dengan biaya yang jauh lebih rendah, menghasilkan solusi yang saling menguntungkan.
- **Kepemimpinan Disorientasi:** Para pemimpin organisasi seringkali kurang memahami nilai dalam data besar serta bagaimana membuka nilai ini. Siapa yang akan memimpin inisiatif big data dalam organisasi masih menjadi tanda tanya. Apakah itu CTO (Chief Technical/Technology Officer), CIO (Chief Information Officer) atau CxO (Chief x Officer) baru dalam bentuk CDO (Chief Data Officer) masih bisa diperdebatkan. Selain itu, banyak organisasi tidak menyusun alur kerja dan insentif dengan cara yang mengoptimalkan penggunaan data besar untuk membuat keputusan yang lebih baik dan mengambil tindakan yang lebih tepat.
- **Anggaran:** Penyimpanan dan analisis data yang besar memerlukan daya komputasi yang lebih besar daripada pemrosesan data tradisional. Ini membutuhkan server analitik, server komputasi berdaya tinggi, dan aplikasi yang dapat mengurangi anggaran perusahaan.

14.10 Catatan Penutup 4

Data besar akan menjadi lebih menantang dengan IoT yang diharapkan menjadi norma dalam jaringan 5G. Teknologi yang tepat dengan kematangan organisasi merupakan kebutuhan untuk mengatasi tantangan tersebut. Kesimpulannya, analitik adalah kunci untuk mengekstrak nilai yang tepat dari tumpukan data yang sangat besar dan dengan bantuan intuisi yang diberikan Tuhan.

14.11 Pertanyaan

1. Definisikan badai pensinyalan yang terkait dengan jaringan seluler?
2. Apa penyebab utama yang mengakibatkan lonjakan sinyal di Jaringan Telenor dan apa solusi utama yang diambil perusahaan untuk mengatasinya?
3. Jelaskan status terhubung UTRA RRC?
4. Jelaskan secara singkat peran dormansi cepat dalam memberi sinyal badai?
5. Mengapa teknologi LTE memiliki signaling yang lebih sedikit dibandingkan 3G UMTS?
6. Bisakah menggabungkan MME dan SGSN dalam satu platform menghasilkan sinyal yang lebih sedikit? Jika ya, jelaskan alasannya?
7. Diskusikan pengaruh paging dan TA pada signalling?
8. Jelaskan perbedaan antara protokol diameter dan agen routing dinamis?
9. Definisikan HetNets?
10. Bisakah backhaul seluler menjadi hambatan bagi HetNets?
11. Mengapa perencanaan situs lebih kompleks di HetNets/sel kecil?
12. Apa itu komunikasi D2D?
13. Apa tantangan utama yang terkait dengan komunikasi D2D?
14. Apa itu data besar?
15. Apa itu crowdsourcing dan bagaimana hal itu dapat membantu organisasi?

14.12 Referensi

1. Gabriel, B. 2012. The Evolution of the Signaling Challenge in 3G & 4G Networks. Heavy Reading, June.
2. Nokia Siemens Networks Smart Labs 2011. Understanding Smartphone Behavior in the Network
3. Fisher, A.D. 2011. Signal storm' Caused Telenor Outages. Cloudberry Media. <http://www.newsinenglish.no/2011/06/16/signal-storm-caused-telenor-outages/>
4. Cellular News 2011. Internal Signaling Traffic Blamed for Telenor's Nationwide Outage Last Week. <http://www.cellular-news.com/story/49606.php>
5. Simula Research Laboratory 2011. Watch Telenor's Network Go Down in Real Time. <http://nevada.simula.no/animations/20110610/aServerWide.php?server=brsund>
6. GSM Association Official Document TS.18 2011. Fast Dormancy Best Practises, Version 1.0, GSMA.
7. Huawei 2012. Smartphone Solutions, Issue 2.0.

8. Nowoswiat, D. and Millikne, G. 2013. Managing LTE Core Network Signaling Traffic, Alcatel-Lucent. <http://www2.alcatel-lucent.com/techzine/managing-lte-core-network-signaling-traffic/>
9. 3GPP TS 25.331 (V14.3.0) 2010. Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification (Release 14). Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, June.
10. telecomHall 2016. What Are Modes, States and Transitions in GSM, UMTS and LTE? <http://www.telecomhall.com/what-are-modes-states-and-transitions-in-gsm-umts-and-lte.aspx>
11. Share Technote UMTS Quick Reference. http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_UMTS_FastDormancy.html
12. RF Wireless World 2012. ECM vs EMM in LTE | Functions of ECM and EMM in LTE. <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LTE-ECM-and-EMM.html>
13. Barton, B. 2012. LTE and Beyond: EPS Mobility Management (EMM) and Connection Management (ECM) States. <http://www.lteandbeyond.com/2012/12/EMM-ECM-eps-mobility-management-andconnection-management.html>
14. Junxian, H. et al. 2012. A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks. The 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, Low Wood Bay, Lake District, UK, June 25–29, 2012. Association for Computing Machinery, Inc. (ACM).
15. Marios, K. et al. 2011. Enhanced Inter-Cell Interference Coordination Challenges in Heterogeneous Networks. Cornell University, arXiv:1112.1597v1 [cs.NI].
16. Telecom Intelligence 2013. Smart Capacity Management in a HetNet World.
17. Durga, P.M. 2012. Heterogeneous Networks in 3G and 4G. IEEE Communications Theory Workshop, Maui, Hawaii, USA, May 14–16, 2012.
18. 4G Americas 2012. Developing and Integrating a High Performance Het-Net.
19. 3GPP TR 36.839 (V11.0.0) 2012. Mobility Enhancements in Heterogeneous Networks (Release 11). Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, September.
20. Jeffrey, G.A. 2013. Seven Ways that HetNets Are a Cellular Paradigm Shift. IEEE Communications Magazine, 51(3):136–144.
21. Zheng, Z., Dowhuszko, A.A. and Hämäläi, J. 2013. Interference Management for LTE-Advanced Het-Nets: Stochastic Scheduling Approach in Frequency Domain. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 24:4–17. DOI: 10.1002/ett.2570
22. Thomas, D.N. et al. 2012. Analytical Evaluation of Fractional Frequency Reuse for Heterogeneous Cellular Networks. IEEE Transactions Communications, 60(7):2029–2039.
23. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.
24. 3GPP TR 36.814 (V9.0.0) 2010. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects (Release 9). Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March.
25. Arsah, A., Qing, W. and Vincenzo, M. 2013. A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks. Cornell University, arXiv:1310.0720v2 [cs.GT].

26. Tero, I. et al. 2013. Flexible Scalable Solutions for Dense Small Cell Networks. FP7 Project ICT-317669 METIS.
27. Sami, H. et al. 2010. Device-to-Device (D2D) Communication in Cellular Network—Performance Analysis of Optimum and Practical Communication Mode Selection. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Sydney, Australia, April, 18–21, 2010, pp. 1–6.
28. Asadi, A., Wang, Q. and Mancuso, V. 2014. A Survey on Device-to-Device communication in Cellular Networks. Cornell University, arXiv: 1310.0720v6 [cs.GT].
29. Yu, C.-H. et al. 2011. Resource Sharing Optimization for Device-to-Device Communication Underlying Cellular Networks. IEEE Transactions Wireless Communications, 10(8):2752–2763
30. Hakola, S. et al. 2010. Device-to-Device (D2D) Communication in Cellular Network—Performance Analysis of Optimum and Practical Communication Mode Selection. Proceedings IEEE Wireless Communications and Networking Conference.
31. Zulhasnine, M., Huang, C. and Srinivasan, A. 2010. Efficient Resource Allocation for Device-to-Device Communication Underlying LTE Network. Proceedings IEEE Wireless Communications and Networking Conference.
32. Hanis, P. et al. 2009. Interference-Aware Resource Allocation for Device-to-Device Radio Underlying Cellular Networks. IEEE 69th Vehicular Technology Conference.
33. Osman, N.C.Y. et al. Smart Mobility Management for D2D Communications in 5G Networks, FP7 project ICT-317669 METIS.
34. Lei, L. et al. 2012. Operator Controlled Device-to-Device Communications in LTE-Advanced Networks. IEEE Wireless Communications, 19(3):96–104.
35. Oracle 2013. Information Management and Big Data A Reference Architecture
36. UN Global Pulse 2012. Big Data for Development: Challenges & Opportunities.
37. Dirk, H. and Stefano, B. 2011. From Social Data Mining to Forecasting Socio-Economic Crises. Cornell University, arxiv: 1-66. New York, USA.
38. The Economist 2011. The Leaky Corporation. <http://www.economist.com/node/18226961#sthash.8FzFF4Ea.dpbs>
39. EMC2 (IDC Digital University). <http://www.emc.com/leadership/programs/digital-universe.htm>.
40. TM Forum 2013. Managing and Mining Big Data. tmforum Insights Research.
41. Jean, Y. 2013. Big Data, Bigger Opportunities—Data.gov’s Roles: Promote, Lead, Contribute, and Collaborate in the Era of Big Data. Data.gov, U.S. General Services Administration.
42. James, M. et al. 2011. Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity. McKinsey & Company—McKinsey Global Institute, New York, USA.
43. James, T. 2012. Beyond the Data Warehouse—Telenor Pakistan’s JouRNEY into Advanced Analytics. Decision Management Solutions.

BAB 15

PRAKTEK INDUSTRI YANG LEMAH, BAIK DAN SANGAT BAIK

Tantangan dan praktik tertentu membantu menciptakan tuntutan untuk pekerjaan masa depan sektor telekomunikasi. Solusi untuk rintangan teknis dan bisnis ini muncul kemudian dalam bentuk standar dan kemajuan teknologi dan pemahaman bisnis.

Fokus bab ini adalah pada tiga praktik tersebut, yaitu manajemen spektrum (karena merupakan bagian terpenting dari teka-teki), manajemen energi (sebagaimana adanya dan akan sangat penting bagi negara berkembang dan negara maju), dan manajemen portofolio paten. (untuk memimpin perlombaan inovasi, menghasilkan uang untuk bisnis, dan yang terpenting, memberi penghargaan kepada para penemu).

Ketiga praktik tersebut dan praktik serupa lainnya dapat dipertimbangkan di bawah domain manajemen teknologi pada tingkat yang lebih luas. Manajemen teknologi bagi perusahaan adalah tentang mempertahankan dan meningkatkan daya saing perusahaan dalam jangka panjang. Detail tentang banyak praktik serupa dapat ditemukan di ^[1].

15.1 Manajemen Spektrum

Dua tantangan paling umum dengan komunikasi nirkabel adalah sinyal dan interferensi yang lemah. Sinyal lemah lebih terkait dengan tingkat daya pancar/terima sedangkan interferensi dapat terjadi karena pembiasan/pembiasan sinyal melalui objek dan rintangan. Gangguan juga dapat terjadi jika spektrum radio tidak diatur dengan baik yang mengarah pada konsep manajemen spektrum.

Manajemen spektrum adalah keseluruhan proses pengaturan dan pengelolaan akses ke dan penggunaan spektrum elektromagnetik (atau frekuensi radio dalam hal komunikasi bergerak). Tujuan utama dari manajemen spektrum adalah untuk memastikan penggunaan spektrum radio secara optimal dalam hal sosial, ekonomi, dan teknis ^[2]. Secara keseluruhan, tujuannya adalah untuk mengurangi polusi spektrum radio, merasionalisasi dan mengoptimalkan penggunaan spektrum, menghindari dan mengatasi gangguan, mengalokasikan dan menetapkan sesuai dengan peraturan ITU-R, membantu pengenalan teknologi nirkabel baru, dan mengoordinasikan komunikasi nirkabel dengan tetangga. dan administrasi lainnya ^[3].

Pada hari-hari awal komunikasi nirkabel, interferensi tidak menjadi masalah karena ada banyak pita frekuensi yang tersedia dan permintaan yang lebih sedikit. Jika masalah interferensi muncul, itu diselesaikan dengan mengalokasikan pita terpisah (yang mungkin juga terpisah jauh) untuk setiap operator yang beroperasi di wilayah geografis yang sama. Cara manajemen spektrum ini cukup berhasil selama 70 tahun terakhir ini ^[3]. Namun, seperti yang kita semua tahu, pendekatan ini tidak lagi layak.

Spektrum frekuensi adalah sumber daya alam, seperti air, tanah, mineral, dan sebagainya. Namun, itu langka dan mahal jika menyangkut telekomunikasi seluler. Spektrum diatur di tingkat negara, yang mengikuti rekomendasi dari WRC ITU-R. WRC yang diadakan setiap 3-4 tahun ini diberi mandat untuk merevisi peraturan radio dan membagikan frekuensi radio untuk dunia. Tidak seperti beberapa sumber daya alam, itu langka tetapi dapat digunakan kembali, sehingga dapat dibagikan. Namun, sebelum berbagi dapat dimulai, dua langkah perlu

dilakukan, yaitu alokasi dan kemudian penugasan⁹⁰. Misalnya, pita frekuensi 1885–2025 dan 2110–2200 MHz dialokasikan untuk IMT-2000 atau 3G di seluruh dunia oleh WRC-1997 [4]. Mengikuti rekomendasi WRC, 3GPP menetapkan 1920–1980/2110–2170 MHz untuk 3G dan, misalnya, pita 2 × 10 MHz (1920–1930/2110–2120 MHz) dapat ditetapkan ke operator dalam suatu negara untuk jangka waktu tertentu untuk menyediakan IMT2000 (3G). Setelah ditetapkan, operator dapat membaginya di antara mereka sendiri jika kebijakan telekomunikasi negara tertentu mengizinkan pembagian spektrum tersebut.

Selanjutnya, selain kedua langkah tersebut, identifikasi untuk IMT juga menjadi langkah yang diperlukan sebelum penetapan dapat dilakukan untuk mobile broadband di dalam negara. Istilah IMT telah berkembang. Ini dimulai dengan IMT2000 (3G), pindah ke IMT-Advanced (4G), dan saat ini mengacu pada IMT2020 untuk sistem/jaringan 5G masa depan. Dengan demikian, alokasi yang disebutkan di atas (1885–2025 dan 2110–2200 MHz) mungkin tidak mengizinkan penyebaran 5G karena hanya dialokasikan untuk 3G. Oleh karena itu, pita 1427–1525 MHz secara khusus diidentifikasi untuk IMT oleh WRC-2015, meskipun pita tersebut telah dialokasikan untuk layanan seluler di salah satu WRC sebelumnya.

Sebagaimana dinyatakan dalam Bab 3, WRC-15 tidak berhasil mendapatkan spektrum frekuensi yang cukup untuk sistem IMT 2020, yaitu 5G. Di tingkat global, WRC-2015 hanya mampu mengidentifikasi 51 MHz untuk IMT [5]. Faktor kunci yang menghambat alokasi yang wajar untuk IMT 2020 adalah (a) alokasi substansial saat ini di pita <6 GHz ke berbagai sektor termasuk seluler, (b) kurangnya studi konklusif untuk keberadaan seluler dengan teknologi lain seperti penyiaran, dan (c) alasan geo-politik dalam beberapa kasus.

Berikut adalah pemaparan solusi dari hambatan geopolitik dalam alokasi spektrum yang disampaikan pada WRC-15.

15.2 Alokasi Spektrum – studi Kasus Perspektif Geo-Politik

Sangat penting untuk memahami tantangan geo-politik dalam menetapkan tuntutan spektrum. Upaya yang gagal pada acara WRC-2015 untuk mengalokasikan pita UHF (Frekuensi Ultra Tinggi: 300 MHz hingga 3 GHz) untuk IMT adalah contoh utama dari masalah geo-politik yang berdampak pada alokasi tersebut. Ini gagal terutama karena masalah geo-politik yang belum terselesaikan antara negara-negara dan sebagian karena kehadiran layanan warisan di pita frekuensi khusus ini. Peraturan/ketentuan radio ITU-R utama No. 9.21 [6] sebagian besar gagal menjawab tantangan yang memerlukan suatu administrasi untuk mengamankan persetujuan (dari administrasi-administrasi tetangga) untuk alokasi pita frekuensi dalam batas-batasnya ke suatu dinas, yang menyatakan agar tidak mengganggu tetangga.

15.2.1 Kasus UHF di WRC-2015

Pita UHF banyak digunakan untuk layanan penyiaran di seluruh dunia. Negara-negara perlahan-lahan beralih ke penyiaran digital yang membutuhkan spektrum frekuensi yang lebih sedikit. Spektrum yang baru tidak terisi dapat digunakan untuk layanan seluler atau lainnya. Namun, di banyak negara berkembang dan berkembang, TV analog masih menjadi raja dengan miliaran pemirsa.

⁹⁰ Alokasi spektrum mengacu pada alokasi frekuensi tertentu untuk tujuan tertentu di tingkat regional atau global. Penetapan spektrum mengacu pada penetapan pita frekuensi tertentu dalam alokasi spektrum tertentu kepada pengguna tertentu untuk jangka waktu tertentu.

15.2.2 Cerita

Sebagaimana disebutkan di atas, salah satu bab paling menarik dari WRC-2015, yang diadakan dari tanggal 2 hingga 27 November 2015, adalah kasus pita UHF (470–698 MHz). Untuk sebagian besar, Wilayah 2, terdiri dari Amerika, sinkron sementara dua lainnya berantakan. Ada banyak diskusi di belakang layar yang terjadi untuk mencapai konsensus. Namun, banyak pemerintahan yang mengambil sikap tegas dan tidak mau mengubah pendiriannya [5]. Posisi berbagai negara tersebut adalah sebagai berikut, sedangkan rincian kasus yang belum terselesaikan ini dapat dilihat pada [7].

Wilayah 3:

- Bangladesh: Mendukung alokasi hanya 604–698 MHz untuk IMT.
- India: Posisi awal mendukung pengalokasian seluruh pita 470 hingga 698 MHz untuk IMT.
- Selandia Baru: Mendukung alokasi seluruh pita 470–698 MHz untuk IMT.
- Pakistan: Posisi awal hanya mendukung pengalokasian 604–698 MHz untuk IMT.
- Papua Nugini (PNG): Mendukung alokasi seluruh pita 470–698 MHz untuk IMT.
- Australia, Iran, Indonesia, Malaysia, Thailand, dan banyak lainnya menentang alokasi.

Jelas dipahami oleh kedua kubu bahwa pengenalan layanan IMT seperti 3G/4G/5G akan membahayakan layanan penyiaran yang ada di dalam negeri dan administrasi tetangga. Studi saat ini tidak meyakinkan dan menunjukkan gangguan dari ponsel ke layanan televisi.

15.2.3 Kemungkinan Remedi

Dua saran berikut dapat dijalankan secara paralel untuk menemukan titik temu.

- a. Rencana migrasi selangkah demi selangkah dari pita UHF dari penyiaran ke IMT yang berlaku untuk administrasi tetangga yang bersangkutan mungkin diperlukan. Peta jalan ini dapat dibagikan dan disepakati di antara semua administrasi tetangga sebelum WRC-2019. Misalnya, sambil mempertahankan 470–550 MHz untuk penyiaran, sisanya dapat dialihkan secara bertahap untuk IMT seperti yang ditunjukkan pada Tabel 15.1.
- b. Ketentuan ITU-R terkait 9.21 dapat diamandemen dengan memberikan mandat kepada administrasi-administrasi terkait untuk menyerahkan rencana implementasi yang disepakati dalam waktu enam bulan ketika tantangan semacam itu muncul.

Tabel 15.1 Migrasi Band UHF dari Broadcasting ke IMT

Frequency (MHz)	Timelines
551–580	First and second years
581–610	Third and fourth years
611–640	Fifth and sixth years
641–670	Seventh and eight years
671–694/698	Ninth and tenth years

15.3 Tugas Spektrum

Setelah alokasi, setiap negara dapat menetapkan spektrum ke masing-masing operator/pengguna sesuai kebutuhan. Ketika spektrum dilisensikan, biaya dibebankan menggunakan salah satu metode berikut [8]:

Lelang adalah metode yang lebih disukai untuk menetapkan blok spektrum untuk penggunaan khusus. Dengan kata lain, ini adalah proses di mana pemerintah menjual hak (lisensi) untuk mengirim/menerima sinyal melalui pita spektrum elektromagnetik tertentu. Lisensi untuk menggunakan spektrum dapat dibuat netral secara teknologi (3G hari ini, 4G besok) atau netral layanan.

Penetapan Harga Insentif Administratif (AIP) menunjukkan biaya peluang spektrum untuk penggunaan yang efisien. Ini dapat diperkenalkan untuk spektrum padat yang tidak cocok untuk lelang seperti frekuensi radio gelombang mikro.

Pemulihan Biaya Administratif (ACR) sesuai jika lelang dan AIP tidak sesuai, misalnya, di pita radio aeronautika, maritim, dan amatir. Biaya tersebut mencerminkan biaya yang dikeluarkan untuk mengelola spektrum tersebut. ACR berlaku untuk spektrum yang tidak padat, digunakan terutama untuk alasan nonkomersial, dan di mana risiko interferensi rendah.

Regulator biasanya melelang spektrum sebagai teknologi spesifik, yaitu pita frekuensi tertentu hanya dapat digunakan untuk GSM dan tidak untuk LTE dan sebagainya. Kedua, frekuensi ditetapkan ke jaringan (operator) tertentu dan tidak dapat dibagi dengan operator lain di sebagian besar kasus. Item lainnya adalah kapasitas lalu lintas yang berkorelasi langsung dengan spektrum, dengan kata lain, untuk mendapatkan efisiensi spektral yang lebih tinggi (bit per detik per hertz), teknologi perlu memeras lebih banyak bit ke dalam spektrum yang sama. Efisiensi spektral downlink LTE dan LTE-Advanced (4G) kira-kira berada di kisaran 1,5–30 bps/Hz yang jauh lebih tinggi daripada sistem 2G (GSM) dan 3G (HSPA). Demikian pula, 5G harus memberikan efisiensi spektral yang lebih baik daripada sistem LTE dan 4G.

Elemen penting yang terkait dengan lisensi spektrum adalah biayanya yang besar. Pemerintah di seluruh dunia melihatnya sebagai sapi gemuk untuk menghasilkan dana dan membayar utang mereka. Di sisi lain, ada banyak kasus di mana operator belum mendapatkan pengembalian bahkan setelah 5–7 tahun diluncurkan; salah satu alasan utama adalah biaya spektrum yang berat.

Dengan demikian, elemen-elemen seperti netralitas teknologi, berbagi, perdagangan, dan pasti

15.3.1 Latar Belakang

Layanan seluler berupa AMPS (Advanced Mobile Phone System) dimulai oleh dua operator (Instaphone dan PakTel) pada tahun 1990. Operator ketiga, Mobilink, meluncurkan jaringan GSM pada 1994–95, sedangkan operator keempat, Ufone, bergabung kereta musik pada tahun 2001. Selama tahun 2008, lisensi Instaphone dicabut karena tidak membayar sementara China Mobile memulai operasinya dengan mengakuisisi PakTel. Dengan demikian, ia menjadi pasar lima operator yang menawarkan layanan GSM kepada jutaan pengguna.

Tabel 15.2 Alokasi Frekuensi

Operator	900 MHz	1800 MHz	Total (MHz)
Warid	4.8	8.8	13.6
Telenor	4.8	8.8	13.6
Ufone	7.6	6.0	13.6
Zong	7.6	6.0	13.6
Mobilink	7.6	6.0	13.6

Dari perspektif manajemen spektrum, ada tiga pemain kunci. Kementerian Teknologi Informasi dan Telekomunikasi yang mengeluarkan arahan kebijakan, PTA regulator negara yang melakukan lelang, dan Frequency Allocation Board (FAB) yang menjadi penjaga sumber daya yang langka ini.

Spektrum Seluler: Masing-masing dari lima pemain memiliki lisensi teknologi netral di 900 dan 1800 MHz dengan total 13,6 MHz seperti yang ditunjukkan pada Tabel 15.2. Setiap pemain menawarkan layanan GSM di band ini.

Spektrum Broadband Nirkabel Tetap: Pita pada 1900 MHz dan 3,5 GHz dilelang sebagai loop lokal nirkabel yang hanya memungkinkan mobilitas terbatas (mobilitas dalam situs sel, tidak ada handoff). Namun, elemen mobilitas belum diatur secara ketat dan handoff biasanya terjadi di jaringan WiMAX dan EV-DO. Diharapkan bahwa teknologi ini pada akhirnya akan pindah ke LTE.

Spektrum Layanan Tetap: Frekuensi dalam kisaran 10–38 GHz digunakan oleh broadband nirkabel tetap dan operator seluler untuk mendukung backhaul. Operator mengalami kekurangan frekuensi yang dapat diatasi dengan penetapan lebih lanjut di pita 42 GHz dan 70–100 GHz. Kebijakan Seluler Seluler 2004 mendukung penggunaan frekuensi ini untuk backhaul dengan spektrum akses radio dan operator diizinkan untuk menggunakannya hampir tanpa biaya. Keputusan ini dibuat pada waktu itu untuk mendorong pertumbuhan, namun, dalam kebijakan telekomunikasi 2015, struktur biaya yang tepat diperkenalkan, yaitu, AIP untuk frekuensi tersebut.

15.4 Studi Kasus Lelang Spektrum Seluler

PTA melelang 3G (2100 MHz) dan 4G (1800 MHz) pada April 2014 setelah periode 10 tahun. Lelang berlangsung di bawah bendera NGMS dengan tetap menjaga netralitas teknologi. Blok spektrum 2×30 MHz di pita 2100 MHz, 2×20 MHz di pita 1800 MHz, dan $2 \times 7,38$ MHz di 850 MHz ditawarkan dalam lelang ini seperti yang ditunjukkan pada Tabel 15.3. 850 MHz hanya ditawarkan kepada pendatang baru (jika ada).

15.4.1 Hasil

Kegiatan tersebut akhirnya berhasil diselesaikan pada bulan April 2014 setelah jeda 10 tahun, menghasilkan Rp. 101 ribu triliun (termasuk pemotongan pajak) untuk kas negara.

Empat operator incumbent, yakni Zong, Mobilink, Ufone, dan Telenor, berpartisipasi dan memperoleh spektrum, sedangkan pemain terkecil, Warid, tidak ikut serta dalam perlombaan. Pemerintah melakukan beberapa upaya untuk memikat operator asing ke dalam gambar. Namun, karena situasi keamanan, ARPU rendah, dan stagnasi pasar, tidak ada operator asing yang mengikuti perlombaan.

Tabel 15.3 Lot Frekuensi

Spectrum Band	Spectrum Quantity	Spectrum Floor	Spectrum Cap
2100 MHz	2 × 30 MHz	2 × 10 MHz	2 × 15 MHz
1800 MHz	2 × 20 MHz	2 × 10 MHz	2 × 10 MHz
850 MHz	2 × 7.38 MHz	2 × 7.38 MHz	2 × 7.38 MHz

Lisensi diberikan kepada Zong dan Mobilink dengan pembayaran 100% dari harga pemenang lelang yang dilakukan dalam waktu 30 hari setelah lelang. Ufone dan Telenor diberikan lisensi dengan pembayaran minimal 50% dari harga pemenang lelang. Kedua operator ini akan membayar sisa pembayaran dalam lima kali angsuran yang sama termasuk biaya bunga tertentu.

Zong adalah satu-satunya penawar di pita 1800 MHz dan dengan demikian dengan mudah dapat mengamankan blok 2 × 10 MHz. Ufone juga menyatakan minatnya pada 2 × 10 MHz di pita 1800 MHz, tetapi mereka tidak dapat berpartisipasi karena mereka tidak memenangkan spektrum 2 × 10 MHz yang diperlukan di pita 2100 MHz. Hanya operator yang memenangkan spektrum 2×10 MHz pada pita 2100 MHz yang diperbolehkan mengikuti lelang 1800 MHz.

15.4.2 Pro dan kontra

Hasil lelang cukup baik bagi pemerintah yang menjabat maupun bagi konsumen. Namun, dampak utama dari spektrum ini adalah bahwa kemungkinan ROI sangat rendah untuk operator di masa mendatang.

Keberhasilan Utama: Tiga keberhasilan utama adalah ketersediaan MBB, peningkatan besar jumlah pelanggan MBB dari nol menjadi lebih dari 35 juta dalam 2,5 tahun, dan kehadiran 3G/LTE di rantai Internasional.

Key Enabler—Survival of the Fittest: Semua peserta lelang memikirkan satu hal sebelum ikut-ikutan ini, yaitu, jika mereka ingin terus beroperasi di pasar, mereka harus memenangkan lisensi (mengikuti prinsip *survivability* dari paling cocok). Pasar Indonesia sangat berorientasi pada persepsi. Jika operator tidak memiliki 3G, pelanggan yang ada perlahan-lahan akan mulai beralih ke yang memilikinya, bahkan jika mereka tidak pernah berencana untuk menggunakan layanan broadband. Mayoritas penduduk miskin dan berhati-hati terhadap harga, sehingga mereka lebih memilih layanan kombo 2G-3G dengan harga yang hampir sama dengan layanan 2G saja.

Untuk menghindari jebakan yang disebutkan di atas, Warid Telecom mulai menawarkan LTE di pita 8,8 MHz dari 1,8 GHz yang ada. PTA mengizinkan Warid untuk menawarkan LTE karena klausul netralitas teknologi dalam lisensi 2004 mereka yang ada, tetapi dengan metrik kualitas layanan yang direvisi. Namun, ini adalah bandwidth saluran yang sangat terbatas untuk menawarkan GSM dan LTE. Hasilnya beragam dan pada akhir 2015, Mobilink mengakuisisi Warid dan merger ini disetujui oleh negara pada 2016.

Kontroversial 2 × 5 MHz Lot: Salah satu elemen yang paling kontroversial adalah perampangan spektrum rantai menjadi 2 × 5 MHz pada jam kesebelas di pita 2100 MHz ^[10]. Kapan dan bagaimana keputusan ini dibuat masih belum jelas, yang dalam beberapa hal, menghilangkan semangat pelelangan. Ketika permintaan menjadi setara dengan pasokan, yaitu empat blok

spektrum (dua dari 2×10 MHz dan dua dari 2×5 MHz) ditawarkan kepada empat operator, tidak banyak kegiatan lelang yang tersisa.

Blok Spektrum yang Ditunggangi Interferensi: Negara memiliki tanggung jawab untuk menyediakan spektrum yang bersih dan bebas gangguan. Namun, setelah peluncuran layanan 3G, Zong menemukan bahwa pita uplink 20–1930 MHz-nya mengalami gangguan berat. Gangguan ini disebabkan oleh kehadiran telepon nirkabel DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) 6.0 yang banyak hadir di tanah air. Terutama, ponsel ini diselundupkan ke dalam negeri dan tidak ada catatan yang tepat yang tersedia dengan pihak berwenang. Setelah itu, kampanye dilakukan bersama oleh PTA dan FAB untuk membuat publik sadar akan penggunaan ilegal dan meminta mereka untuk menyerah. Untuk mengimbangi kelalaian ini, negara untuk sementara menyediakan 6,6 MHz di pita 1800 MHz ke Zong, yang masih bersama operator hingga saat penulisan studi kasus ini (akhir 2016).

15.5 Manajemen Energi

Manajemen energi dalam jaringan seluler menjadi perhatian utama bagi operator karena mempengaruhi profitabilitas mereka. Manajemen energi terutama melibatkan pengurangan emisi OPEX dan CO₂ dalam jaringan.

Menurut laporan Gartner yang dikutip secara luas ^[12], sektor ITC bertanggung jawab atas 2% emisi global atau sekitar 830 MtCO₂e (setara megaton karbon dioksida). Jika tren ini berlanjut, ICT akan berkontribusi sekitar 1,43 GtCO₂e pada tahun 2020. Dari 1,43 MtCO₂e ini, kontribusi perangkat telekomunikasi diharapkan menjadi 51 MtCO₂e sedangkan kontribusi infrastruktur telekomunikasi akan menjadi 299 MtCO₂e. Dengan demikian, sektor telekomunikasi dapat berkontribusi sekitar 25% dari total emisi ITC pada tahun 2020 ^[13]. Di sisi lain, penurunan konsumsi daya jaringan telekomunikasi diperkirakan terjadi karena penggunaan sumber energi terbarukan, perangkat hemat energi, dan infrastruktur.

Bagian ini akan melihat secara singkat beberapa aspek manajemen energi termasuk definisi masalah, teknik hemat energi, metrik untuk mengukur kehijauan, sumber energi alternatif, aktivitas utama di seluruh dunia.

15.6 Definisi Masalah

Perhatian utama operator seluler adalah tingginya biaya OPEX yang terkait dengan peningkatan nonstop dalam jumlah BTS dan sel kecil. Di negara berkembang/berkembang seperti India, Nepal, Pakistan, dan di banyak negara Afrika, hambatan menjadi lebih bermasalah karena seringnya padam dan tidak dapat diandalkan jaringan listrik. Misalnya, di Afrika, di mana banyak negara memiliki kurang dari setengah menara mereka yang terhubung ke jaringan listrik, masalahnya menjadi lebih buruk. Dengan demikian, OPEX terkait energi membentuk sekitar 20%–40% dari total OPEX jaringan untuk operator di negara-negara tersebut.

Menurut berbagai penelitian ^[14,15] dan penerapan praktis, elemen konsumsi energi utama dari jaringan seluler adalah BS bersama dengan elemen terkait seperti unit pendingin udara dan kabel/pengumpan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.1, PA mengkonsumsi sebagian besar energi BS, diikuti oleh pemrosesan sinyal, unit pendingin, dan catu daya.

PA di BTS mengkonsumsi sekitar 50%-80% dari total daya BS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.1. Yang mengejutkan, efisiensi total PA umumnya berkisar antara 5% hingga 20% (tergantung pada standar - GSM, UMTS, CDMA, dan kondisi peralatan) ^[16]. Selain BS, mobile

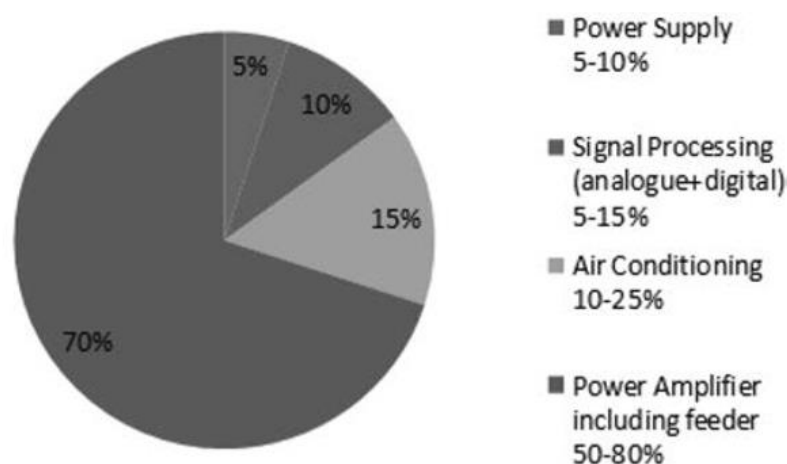
sw ITC hing, dan elemen transmisi inti, pusat data dan outlet ritel adalah elemen lain yang mengkonsumsi daya yang cukup besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.2. Situs sw ITC hing menampung elemen seperti RNC, MSC, dan sebagainya, sementara pusat data dapat mempertahankan SSGN dan GGSN ^[17].

15.7 Teknik Hemat Energi

Konsumsi energi BS dapat dikurangi dengan meningkatkan desain perangkat keras, fitur perangkat lunak, atau kombinasi keduanya. Hal ini juga dapat ditingkatkan dengan menggunakan sel-sel kecil dalam jumlah besar. Misalnya, femtocell biasa menggunakan total 20–60 miliwatt daya dibandingkan dengan BS biasa yang mengonsumsi 60–240 W. Penerapan sel kecil terus meningkat dan diharapkan mendapatkan lebih banyak momentum di era 5G mendatang. Beberapa teknik penghematan energi adalah sebagai berikut ^[15–22]:

Efisiensi Power Amplifier: Beberapa teknik seperti desain Doherty, penggunaan amplifier GaN, DRX, teknik transmisi terputus (DTX), dan lainnya telah diusulkan/diimplementasikan untuk meningkatkan efisiensi PA. Desain doherty dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 30% hingga 35% pada bandwidth yang sempit [18]. Peningkatan lebih lanjut dapat ditingkatkan hingga lebih dari 50% menggunakan arsitektur Doherty terdistorsi digital dan amplifier GaN seperti yang diklaim dalam ^[16]. Efisiensi PA juga dapat ditingkatkan dengan mengurangi waktu pengoperasiannya selama lalu lintas rendah atau dalam mode siaga. Hal ini dicapai dengan mengoptimalkan jumlah sinyal kontrol pengiriman/penerimaan selama mode tersebut. Misalnya, teknologi seluler seperti WCDMA/HSPA dan LTE mewujudkan efisiensi daya dengan menggunakan mode DRX dan DTX untuk handset seluler. Teknik-teknik ini menghemat daya dengan mematikan perangkat sejenak sambil tetap terhubung ke jaringan dengan throughput yang berkurang ^[14].

Pembesaran Sel: Ini adalah teknik yang memungkinkan BS untuk menyesuaikan area jangkauannya sesuai dengan situasi jaringan atau lalu lintas sambil mengurangi konsumsi energi. Ketika sebuah sel menjadi padat dengan peningkatan jumlah pengguna, itu dapat memperbesar dirinya sendiri, sedangkan sel-sel tetangga dengan lalu lintas yang lebih sedikit dapat memperkecil untuk menutupi pengguna yang tidak dapat dilayani oleh sel yang padat atau yang berada di lubang cakupan. Sel yang tidak dapat memperbesar dapat tidur sesuai kebutuhan untuk mengurangi konsumsi energi, sedangkan sel tetangga dapat memperkecil untuk membantu melayani pengguna seluler secara kooperatif ^[15,19-21].



Gambar 15.1 Distribusi konsumsi energi pada a macro base station site.

Cooperative Relay: Teknik relaying kooperatif memberikan keuntungan dalam throughput dan efisiensi energi untuk komunikasi nirkabel. Dalam istilah yang lebih sederhana, ketika perangkat mentransmisikan sinyal data ke tujuan, perangkat ketiga (yang berwenang) mendengar transmisi ini dan menyampaikan sinyal ke tujuan juga. Perangkat di tujuan akhirnya menggabungkan dua sinyal yang diterima untuk meningkatkan decoding ^[22]. Menyampaikan komunikasi hijau melalui teknik kooperatif dapat dicapai dengan dua pendekatan yang berbeda. Pendekatan pertama adalah memasang relai tetap di dalam area jangkauan jaringan untuk memberikan layanan kepada lebih banyak pengguna dengan menggunakan lebih sedikit daya. Pendekatan kedua adalah mengeksploitasi pengguna untuk bertindak sebagai relai.

15.8 Teknik Energi yang Terbarukan

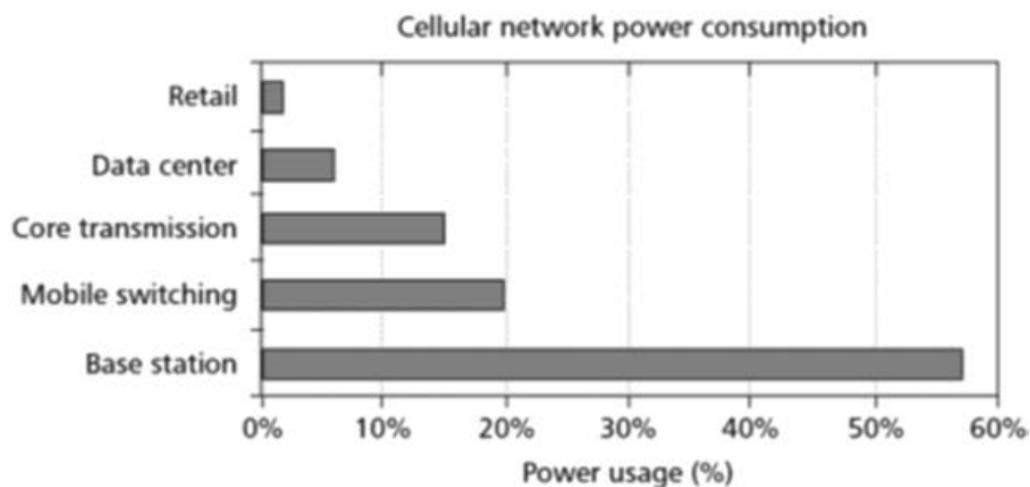
Operator jaringan seluler di banyak negara berkembang mengandalkan generator bertenaga diesel untuk menjalankan stasiun pangkalan, yang tidak hanya mahal, tetapi juga menghasilkan emisi CO₂. Emisi CO₂ secara alami merupakan ukuran utama kehijauan, tetapi bagian keseluruhan dari jaringan telekomunikasi cukup rendah (sekitar 2%) di seluruh skema. Namun, motivasi utama untuk komunikasi nirkabel hijau mencakup manfaat ekonomi (biaya energi yang lebih rendah) dan penggunaan praktis yang lebih baik (misalnya, konsumsi energi yang lebih sedikit dari peralatan jaringan dan perangkat seluler). Menurut beberapa perkiraan, ada lebih dari lima juta menara telepon seluler di seluruh dunia, sekitar 13% di antaranya tidak terhubung ke jaringan listrik dan sebagian besar menggunakan tenaga diesel. Selama beberapa tahun terakhir, industri telah mengeksplorasi dan menyebarkan beberapa sumber energi terbarukan ^[23-25]. Terutama, teknologi tenaga surya dan angin telah memberikan alternatif untuk diesel.

- Sel surya dengan baterai cadangan menjadi alternatif utama untuk situs off-grid dan teknologi sel surya baru membuat harga terus turun. Array surya memerlukan perawatan minimal dan pembersihan sesekali mencegah hilangnya efisiensi panel secara bertahap dari debu atau kotoran burung. Awan dan curah hujan dapat mengurangi output daya untuk suatu periode, tetapi hujan juga dapat membantu membersihkan permukaan panel surya.
- Sejumlah trade-off perlu dipertimbangkan dalam memilih turbin tenaga angin untuk lokasi sel. Kecepatan angin puncak menentukan ukuran struktur yang dibutuhkan untuk memasang turbin karena hubungan langsung antara ketinggian di atas tanah dan kecepatan angin. Turbin yang lebih kecil dapat dipasang di menara tinggi sedangkan dalam kasus lain, turbin besar di menara yang lebih rendah mungkin lebih hemat biaya. Dengan demikian, pilihan turbin dan struktur harus dipertimbangkan dalam desain situs sel.
- Sebuah inisiatif yang disebut Green Power for Mobile oleh GSMA sedang berlangsung di banyak negara Afrika ^[25]. Program ini dimaksudkan untuk membantu industri seluler untuk menyebarkan teknologi solar, angin atau biofuel berkelanjutan untuk memberi daya pada 118.000 BS off-grid baru dan yang sudah ada di negara-negara berkembang tersebut. Menghidupkan banyak BS pada energi terbarukan akan menghemat hingga 2,5 miliar L solar per tahun (0,35% dari konsumsi diesel global 700 miliar L per tahun) dan memangkas emisi karbon tahunan hingga 6,8 juta ton.

15.9 Aktivitas di SDO / Industri / Akademia

Selama beberapa tahun terakhir, sejumlah proyek hijau telah didanai untuk memfasilitasi penelitian, evaluasi, dan penerapan eksperimental teknik hijau di jaringan seluler. SDO misalnya, 3GPP, IETF, dan lainnya, telah memperkenalkan parameter manajemen energi dalam spesifikasi standar masing-masing. Misalnya, 3GPP Rel-11 yang dibekukan secara fungsional pada Maret 2013 menjabarkan adaptasi manajemen penghematan energi antar-RAT, antar-eNobeB, dan intra-eNobeB (termasuk aspek OAM) dalam jaringan. Dalam 3GPP Rel-12 (dibekukan pada Maret 2015), studi tentang pengukuran kinerja terkait efisiensi energi dan peningkatan sistem untuk mendukung penerapan hemat energi dan solusi potensial yang memungkinkan penghematan energi dalam BTS GSM dan E-UTRAN dimulai ^[26]. 3GPP dalam Rel-13 (dibekukan pada Maret 2016) merevisi pengukuran kinerja terkait efisiensi energi yang telah ditentukan sebelumnya. Sejalan dengan itu, IETF bekerja pada teknik jaringan hemat energi sambil menentukan persyaratan pemantauan konsumsi energi ^[27] dan objek yang dikelola ^[28] untuk menciptakan standar interoperable untuk jaringan hijau.

Pada saat yang sama, berbagai langkah telah dikembangkan untuk menghitung efisiensi pemanfaatan energi oleh organisasi lain juga. Misalnya, ETSI telah menetapkan dua metrik efisiensi energi tingkat jaringan. Metrik pertama didefinisikan sebagai rasio total area cakupan dengan daya yang dikonsumsi di lokasi dan diukur dalam satuan km²/Watt. Metrik kedua digambarkan sebagai rasio jumlah pelanggan dengan daya yang dikonsumsi di situs dan diukur dalam satuan pengguna/Watt ^[18].



Gambar 15.2 Komposisi konsumsi energi jaringan seluler. (Dari Armour, S. dkk. 2011. IEEE Communications Magazine, 49(6):46–54 ^[17].)

Dapat dilihat bahwa sejumlah metrik tersedia dan digunakan sesuai kebutuhan. Namun, ada kebutuhan untuk menghasilkan seperangkat pengukuran yang disepakati yang dapat digunakan di seluruh jaringan di seluruh dunia.

15.10 Manajemen Portofolio Paten

Komunikasi seluler sangat bergantung pada teknologi standar yang pasti menggunakan banyak penemuan atau paten. Paten ⁹¹ telah menjadi pembeda pasar di dunia seluler

⁹¹ Paten adalah seperangkat hak eksklusif yang diberikan oleh hukum kepada pemohon untuk penemuan yang baru, tidak jelas, dan dapat diterapkan secara komersial. Ini berlaku untuk jangka waktu terbatas (umumnya 20 tahun).

berteknologi tinggi. Desainer, produsen, dan bahkan operator terus berlomba untuk meningkatkan portofolio paten mereka untuk mendapatkan keuntungan pasar. Selanjutnya, produsen peralatan dan perancang semikonduktor melakukan yang terbaik untuk menjadikan IPR (hak kekayaan intelektual) mereka menjadi bagian dari standar. Setelah ini termasuk dalam standar, pengembalian investasi masa depan menjadi relatif dapat diprediksi.

Dalam beberapa tahun terakhir, perlombaan yang tak terhindarkan ini telah meletus dalam bentuk perang paten yang merugikan pihak yang kalah dan menguntungkan pemenang dengan miliaran rupiah. Teknologi seperti LTE dan produk seperti iPhone telah menjadi pusat perhatian perang paten. Sebagai inovasi produk yang terus tumbuh di pasar yang kompetitif, itu akan membalas tidak hanya di ruang perlindungan modal intelektual, tetapi juga digunakan lebih sebagai alat strategis dalam pencarian kepemimpinan pasar ^[32].

Bagian ini terutama akan membahas distribusi paten 2G, 3G, LTE, dan LTE-Advanced di seluruh industri. Ini juga akan memberikan gambaran tentang contoh litigasi dan beberapa strategi untuk menghindari hal yang sama.

15.11 Portofolio Paten 2G, 3G, dan LTE

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi LTE dan 4G (LTE-Advanced) telah menjadi enabler dominan dari data mobile broadband dan telah menjadi nama rumah tangga. Pada skala yang sama, ini juga mencakup ruang paten teknologi di seluruh dunia. Namun, pangsa koneksi seluler 2G dan 3G, yang saat ini lebih dari 60%, bersama dengan portofolio paten yang cukup besar tidak dapat diabaikan begitu saja. Portofolio paten teknologi saat ini hanya didominasi oleh segelintir perusahaan.

Bagian ini akan secara singkat memberikan beberapa statistik tentang paten dan perusahaan tersebut, namun, sebelum menyelami distribusi paten, ada baiknya untuk memahami definisi kunci tertentu.

Paten Esensial Standar: Paten yang dideklarasikan ke SDO seperti ETSI dan seterusnya, dapat dianggap penting untuk teknologi tertentu atau standar. Dengan kata lain, paten esensial standar adalah paten di mana praktik satu atau lebih dari penemuan yang ditetapkan di dalamnya diperlukan untuk memenuhi standar teknis yang diterbitkan oleh SDO. Hakikat paten diuji dalam diskusi teknis terperinci yang memetakan klaim paten dengan spesifikasi teknis standar berdasarkan klausa demi klausa ^[33-35].

Paten Seminal adalah yang ditentukan untuk menjadi kuat berdasarkan seperangkat parameter dan yang dapat membuat atau menggeser ruang teknologi tertentu. Ini dapat dikutip dalam penemuan baru.

Tabel 15.7 Jumlah Paten 2G, 3G, LTE, dan LTE-Advance pada 2012

#	Company	2G & 3G Standard- Essential Patents (ETSI+U.S. PTO)	2G & 3G Seminal Patents (U.S. PTO Only)	LTE/LTE-Advanced Standard-Essential Patents (Estimation on Those Declared to ETSI)	Other LTE/ LTE- Advanced Patents (ETSI Only)	Total Patent Portfolio
1	Qualcomm	146	113	318	337	914
2	Nokia Corporation	227	143	245	260	875
3	Samsung	57	21	233	419	730
4	Huawei	15	0	273	330	618
5	Ericsson	85	51	177	222	535
6	InterDigital	35	48	206	212	501
7	LG	38	118	237	80	473
8	ZTE	0	0	253	115	368
9	Motorola	16	0	111	199	326
10	Sharp	0	0	86	103	189
11	Nokia Siemens Networks	33	15	63	44	155
12	Texas Instruments	0	0	90	35	125
13	Panasonic Corporation	0	0	53	54	107
14	Alcatel-Lucent	0	45	24	38	107
15	NEC	0	0	64	37	101
16	Apple	0	0	25	53	78
17	Innovative Sonic Limited	19	0	35	9	63
18	Research in Motion	14	14	16	15	59
19	Nortel Networks	22	10	9	12	53
20	ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute, Korea)	0	0	35	16	51

Tabel 15.7 menyajikan distribusi paten dari 20 perusahaan teratas berdasarkan data paten dari PTO AS (Kantor Paten & Perdagangan AS) dan ETSI (Lembaga Standar Telekomunikasi Eropa). Tabel⁹² diisi dari dua laporan terpisah yang disediakan oleh iRunway^[36] dan Cyber Creative Institute^[37]. Tabel tersebut mencakup paten 2G, 3G⁹³, LTE, dan LTE-Advanced yang diumumkan sebelum tahun 2012. Dapat disaksikan bahwa Qualcomm memimpin perlombaan secara keseluruhan diikuti oleh Nokia dan Samsung.

Jika 2G dan 3G hanya dipertimbangkan, maka Nokia Corporation (tidak termasuk Nokia Siemens Network) adalah nomor satu diikuti oleh Qualcomm. Mempertimbangkan kasus LTE dan LTE-Advanced saja, Qualcomm memimpin perlombaan dengan 655 paten, diikuti oleh Samsung dengan 652 paten, dan Huawei berada di tempat ketiga dengan 603 paten.

15.11.1 IEEE 802.11 TGn/TGac

Model saluran IEEE 802.11 TGn [171] adalah model saluran stokastik berbasis korelasi spasial (antena) (CSCM). Ini juga mengadopsi ide dasar model saluran stokastik SalehValenzuela (SV). Model saluran mendukung pita frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz dengan bandwidth maksimum 40 MHz dan paling banyak 4 antenna. Secara khusus, ia memilih tiga model A, B, C dengan delay spread kecil di antara lima model saluran yang disajikan oleh HiperLan/2 dan menambahkan tiga model tambahan untuk tipikal kantor kecil, ruang terbuka indoor dan outdoor yang besar, untuk membentuk total enam model A~F. DS dari enam model adalah Ons (model pita sempit), masing-masing 15 ns dan 30 ns, 50 ns, 100 ns, dan 150 ns. Keenam model tersebut masing-

⁹² Akurasi 100% dari tabel ini tidak dijamin. Ini hanya memberikan gambaran dari keseluruhan portofolio paten komunikasi seluler.

⁹³ 2G-GSM, GPRS, EDGE, dan CDMAOne; 3G-UMTS dan CDMA2000.

masing terdiri dari 1, 2, 2, 3, 4, 6 cluster. Jalur (taps) dalam suatu cluster memiliki delay yang berbeda tetapi memiliki rata-rata sudut keberangkatan dan kedatangan dan AS yang sama. AS dan DS dari sebuah cluster menunjukkan korelasi yang kuat dengan koefisien korelasi 0,7. Untuk setiap tap, PAS dari sebuah cluster dapat diasumsikan terdistribusi secara seragam, terdistribusi Gaussian terpotong, atau terdistribusi Laplacian terpotong. Berdasarkan PASs, matriks korelasi elemen antena pengirim dan antena penerima dapat dihitung dan dilambangkan masing-masing dengan RT dan RR. Matriks korelasi saluran dinyatakan sebagai produk Kronecker dari RT dan RR. Model ini mendukung UT pada kecepatan maksimum 1,2 km/jam, yang akan menghasilkan pergeseran Doppler 6 Hz pada 5,25 GHz dan 3 Hz pada 2,4 GHz. Spektrum daya Doppler adalah Bellshape, bukan bentuk U umum dalam model Jakes klasik. Metode penyaringan kebisingan alih-alih Sum of Sinusoids (SoS) diadopsi untuk menghasilkan sampel saluran.

Untuk mendukung bandwidth yang lebih tinggi, tingkat transmisi dan melayani skenario multi-pengguna (MU-MIMO), kelompok kerja IEEE 802.11 TGac mengusulkan model saluran TGac berdasarkan model TGn [172], yang dapat mendukung bandwidth hingga 1,28 GHz dengan interpolasi keran saluran TGn. Untuk kasus multi-pengguna, parameter sudut masing-masing UT dihasilkan secara independen, yang tidak sesuai dengan situasi sebenarnya, sehingga kinerja MU-MIMO dapat ditaksir terlalu tinggi. Selain itu, menurut situasi aktual, diusulkan kecepatan bergerak yang lebih kecil 0,089 km/jam, yang sesuai dengan waktu koheren 800 ms atau penyebaran Doppler kuadrat rata-rata 0,414 Hz.

15.11.2 IEEE 802.15.3c/ IEEE 802.11ad/aj/ay

IEEE 802.15.3c adalah model saluran 60 GHz pertama di dunia yang diusulkan oleh kelompok kerja IEEE 802.15 (WPAN) [8]. Ini memperluas model saluran SV tradisional untuk mendukung sudut tiba. Namun, ini hanya memberikan informasi azimuth, jadi ini adalah model saluran 2D. Pengukuran utama untuk menghasilkan model diselesaikan oleh beberapa lembaga termasuk NICT Jepang dan IMST Jerman, dll. Ini berisi sepuluh model saluran CM1~CM10 untuk enam skenario termasuk ruang tamu, kantor, perpustakaan, ruang konferensi, desktop dan koridor. Model tidak menentukan rentang frekuensi dan pita frekuensi yang berlaku. Menurut konfigurasi peralatan pengukuran, kita dapat menyimpulkan bahwa rentang frekuensi yang berlaku adalah sekitar 59~64 GHz, dan bandwidth maksimum tidak lebih dari 3 GHz.

Model saluran IEEE 802.11ad ^[9] adalah model saluran yang diusulkan untuk sistem WLAN dengan kecepatan data ultra tinggi yang beroperasi pada 60 GHz tanpa izin. Ini memperluas model SV untuk mendukung sudut azimuth dan zenith di Tx dan Rx, jadi ini adalah model saluran 3D dua arah. Model ini mendukung tiga jenis skenario dalam ruangan (ruang konferensi, kantor, ruang tamu) dan dua jenis akses tautan dan D2D. Metode pemodelan yang diadopsi meliputi RT, pengukuran, distribusi empiris dan model teoritis. RT digunakan untuk menentukan delay dan rata-rata sudut azimuth/zenith dari cluster. Cluster utama termasuk LOS, komponen refleksi satu orde dan dua orde. Distribusi empiris digunakan untuk menggambarkan amplitudo dan distribusi sudut antar cluster dari jalur refleksi. Model teoritis digunakan untuk menggambarkan karakteristik polarisasi. Parameter utama sinar dalam cluster diperoleh dengan pengukuran. Terlepas dari model SV klasik, dalam model IEEE 802.11ad sinar dalam sebuah cluster dibagi menjadi sinar pra-kursor dan pasca-kursor. Pemasangan parameter dilakukan di dua bagian secara terpisah. Sudut azimuth dan zenith dari sinar-sinar dalam suatu cluster terdistribusi normal secara bebas. Berbeda dari model saluran lain seperti WINNER di mana path loss, SF dan gain path skala kecil bersama-sama menentukan kekuatan cluster dan sinar, model saluran IEEE 802.11ad tidak membedakan

path loss dan fading skala kecil, tetapi secara independen menghasilkan jalur keuntungan untuk setiap sinar. Secara umum, model dapat memberikan karakteristik saluran yang akurat dalam domain ruang dan waktu, dan mendukung beamforming, polarisasi, dan mempertimbangkan kerugian penyumbatan yang disebabkan oleh tubuh manusia.

Pada tahun 2012, Kelompok Kerja IEEE 802.11 membentuk Kelompok Tugas IEEE 802.11aj, yang menargetkan standar WLAN generasi berikutnya untuk pita mmWave 45 GHz di Cina. Serangkaian pengukuran saluran dilakukan oleh Lab Kunci mmWave di Universitas Tenggara. Sebuah model path loss untuk tiga skenario akses dalam ruangan diusulkan dan penyebaran delay dianalisis. Pada bulan Maret 2015, Kelompok Kerja IEEE 802.11ay dibentuk untuk mengembangkan standar sistem transmisi 60 GHz generasi berikutnya, yang dimaksudkan untuk memperluas cakupan aplikasi IEEE 802.11ad dengan dukungan untuk Backhaul dan Fronthaul serta mobilitas dan band minimum lebar 4 GHz [179]. Model saluran yang dikembangkan memiliki beberapa fitur: memperluas model saluran SISO dalam ruangan dari IEEE 802.11ad ke model saluran MIMO, menggunakan metodologi Quasi-Deterministic (QD) untuk membangun model saluran untuk skenario baru, termasuk akses hotspot outdoor area terbuka, ngarai jalan luar ruangan akses hotspot, lobi hotel besar, jarak sangat pendek, dan komunikasi D2D. Perhatikan bahwa kecuali sinar D dan sinar R seperti model MiWEBA, jenis sinar ketiga (F-rays) yang muncul untuk waktu yang singkat, misalnya, pantulan dari mobil yang bergerak dan objek lain, dapat diperkenalkan dan dijelaskan dengan cara yang sama seperti sinar-R untuk lingkungan non-stasioner khusus.

15.11.3 5GCM

5GCM adalah aliansi model saluran 5G mmWave yang diprakarsai oleh Institut Standar dan Teknologi Nasional AS (NIST) dan mencakup banyak perusahaan dan universitas seperti NIST, NYU, AT&T, Qualcomm, CMCC, Huawei, dan BUPT. Skenario tipikal dalam 5GCM adalah UMi (urban street canyon dan open square), O2O (outdoor-to-outdoor)/O2I, UMa O2O/O2I, dan InH (kantor dalam ruangan terbuka atau tertutup dan pusat perbelanjaan). 5GCM dikembangkan berdasarkan model saluran 3GPP-3D dan mengadopsi pengukuran saluran frekuensi-muti dan metode pemodelan RT. Path loss, LSPs, penetration losses, dan model blockage pada kasus LOS dan NLOS untuk beberapa skenario telah diperoleh. Path loss dimodelkan dengan model CI, CIF (CI dengan frekuensi), dan ABG. Model CIF kemiringan ganda dan model ABG juga disediakan untuk skenario InH dalam kasus NLOS. Untuk kehilangan penetrasi O2I, disediakan dua model, yaitu model kehilangan rendah dan model kehilangan tinggi untuk dinding luar dengan kaca yang berbeda. Tanpa ragu path loss dan penetrasi loss akan tergantung pada pita frekuensi. Namun, LSP tidak menunjukkan ketergantungan frekuensi tertentu dengan menganalisis hasil pengukuran. Ketergantungan frekuensi yang lemah dari LSP hanya ditemukan dengan teknik RT. Jarak berkorelasi dan koefisien korelasi di antara beberapa LSP diwarisi dari parameter model 3GPP-3D. Tiga metode diusulkan untuk mendukung konsistensi spasial, yaitu, (1) konsistensi spasial-waktu-frekuensi RV yang digunakan untuk menghasilkan status LOS/NLOS, penguatan jalur, penundaan, dan sudut sinar, dll, diperoleh dengan menginterpolasi RV pada grid reguler di lokasi UT; (2) Metode evolusi dinamis mirip dengan yang disajikan di QuaDriGa; (3) metode pemodelan GGSCM yang diusulkan oleh METIS. Untuk pemodelan penyumbatan, ekspresi KED dalam koordinat Cartesian dan koordinat kutub disediakan. Parameter dari dua penyumbatan khas, yaitu, tubuh manusia dan kendaraan, disarankan. Karena kampanye pengukuran belum selesai, model saat ini bukanlah versi final.

15,12 Perang Paten

Perang paten adalah pertempuran hukum antara perusahaan atau individu untuk mengamankan paten untuk litigasi, baik secara ofensif atau defensif. Pertarungan hukum antara beberapa raksasa teknologi dan perangkat lunak terbesar di dunia ini telah menjadi fenomena global. Yang paling umum melibatkan produsen smartphone seperti Apple Inc., Nokia, Motorola, dan Samsung^[38-40].

Dapat dikatakan dengan aman bahwa pola tuntutan dan tuntutan balik saat ini dimulai pada akhir tahun 2000-an saat pasar smartphone mulai berkembang pesat. Apple telah sangat agresif dalam melindungi kekayaan intelektualnya dan telah menuntut dan digugat oleh pihak lain dalam domain ini^[41].

Bagian ini akan menjelaskan secara singkat dua perang paten yang dilancarkan beberapa tahun lalu. Salah satu konflik tersebut dimulai pada tahun 2010 dan berakhir pada tahun 2013, sedangkan konflik yang dimulai pada tahun 2011 masih belum selesai.

15.12.1 Kasus #1: Apple Inc. versus Samsung Electronics Co., Ltd. (2011)

Apple Inc. versus Samsung Electronics Co., Ltd. adalah yang pertama dari serangkaian tuntutan hukum yang sedang berlangsung antara kedua perusahaan terkait desain smartphone dan komputer tablet.

Pertempuran dimulai pada tanggal 15 April 2011, ketika Apple menggugat Samsung, menuduh dalam pengaduan federal 38 halaman di Pengadilan Distrik AS untuk Distrik Utara California bahwa sejumlah ponsel dan tablet Android Samsung telah melanggar kekayaan intelektualnya. Samsung menggugat Apple atas paten teknologi 3G dan melakukan perlawanan ke Jerman, Jepang, dan Korea.

Beberapa garis waktu utama yang terkait dengan kasus ini adalah sebagai berikut^[41,42]:

- **Mei-Desember 2011**

Pertempuran meningkat menjadi 30 kasus di empat benua-Amerika Utara, Asia, Eropa, dan Australia^[43,44].

- **Juli 2012**

Kedua perusahaan itu melawan lebih dari 50 tuntutan hukum di seluruh dunia, dengan triliunan rupiah dalam pengendalian kerusakan^[45].

- **Agustus-Des 2012**

Di AS, Apple meraih kemenangan Rp. 1.049 triliun sementara Samsung memenangkan keputusan di Korea Selatan, Jepang, dan Inggris. Pengadilan banding mencabut perintah atas penjualan Galaxy Nexus buatan Samsung di AS. Hakim Koh menemukan bahwa juri AS menghitung ganti rugi secara tidak benar. Dia membatalkan Rp. 400 Miliar dari Rp. 1,049 triliun yang diberikan kepada Apple. Dia kemudian memerintahkan pengadilan ulang untuk menentukan ganti rugi yang layak.

Sejak itu baik Samsung dan Apple telah berusaha keras untuk memiringkan putusan dan kerugian yang menguntungkan mereka.

- ***Juni–Agustus 2013***

Samsung memenangkan larangan terbatas dari Komisi Perdagangan Internasional (ITC) AS atas penjualan produk Apple tertentu setelah komisi menemukan bahwa Apple telah melanggar paten esensial standar Samsung^[46]. Namun, ini diveto oleh Perwakilan Dagang AS Michael Froman sebelum mulai berlaku. Kemudian, beberapa hari kemudian, ITC memblokir beberapa ponsel Samsung lama dari penjualan di AS karena melanggar dua paten Apple.

- ***November 2013***

Pengadilan ulang atas kerusakan yang dibatalkan oleh Hakim Koh dimulai. Apple mencari Rp. 379,8 miliar sementara Samsung berpendapat jumlahnya harus Rp. 52 miliar. Perwakilan Samsung mengakui bahwa beberapa perangkatnya telah menggunakan beberapa elemen desain Apple. Hakim Koh memberikan ganti rugi kepada Apple Rp. 290 miliar yang membuat total hukuman Samsung dalam kasus AS pertama menjadi Rp. 939 miliar dari Rp. 1,049 triliun. Hari berikutnya, Samsung mengajukan banding resmi terhadap keputusan tersebut.

- ***Maret 2014.***

Pengadilan AS kedua berlangsung pada 31 Maret di mana Apple meminta ganti rugi sekitar Rp. 2 triliun. Percobaan kedua melibatkan paten yang berbeda dan produk yang berbeda dari percobaan pertama.

- ***Desember 2014***

Samsung mendesak pengadilan banding AS untuk membatalkan Rp. 939 miliar dalam putusan kasus pertama yang dimenangkan oleh Apple yang menyatakan bahwa itu tidak menyalin desain iPhone dan penghargaan kerusakan terlalu tinggi.

15.12.2 Kasus #2: Microsoft Corp. versus Motorola Inc. (2010)

Motorola adalah pemegang paten esensial standar IEEE 802.11 (WiFi) dan ITU-T H.264 (video encoding). Ini berarti bahwa akan diperlukan untuk menggunakan konsep yang diwujudkan dalam paten ini untuk membangun perangkat yang sesuai dengan 802.11/H.264. Motorola setuju secara tertulis kepada IEEE dan ITU bahwa mereka akan melisensikan paten-paten ini dengan persyaratan yang wajar dan tidak diskriminatif (RAND) di seluruh dunia, secara nondiskriminatif. Microsoft memiliki sejumlah produk yang menggunakan standar ini, yang paling penting adalah konsol game Xbox, perangkat lunak telepon Windows, dan Microsoft Windows. Berikut adalah beberapa garis waktu utama yang terkait dengan kasus ini [41,47,48]:

- ***Oktober 2010***

Motorola mengirim surat ke Microsoft dengan alasan bahwa mereka harus membayar pembayaran royalti pada semua produk akhirnya yang menggunakan standar ini dengan tarif 2,25%.

- ***November 2010***

Microsoft mengajukan gugatan terhadap Motorola di Pengadilan Distrik Barat Washington dengan mengklaim bahwa Motorola melanggar kewajiban lisensi RAND.

- ***Juli 2011***

Motorola menggugat balik Microsoft di Jerman, menuduh Microsoft melanggar dua paten penting H.264 Jerman.

- **Februari 2012**

Pengadilan Distrik Barat Washington menolak klaim Motorola bahwa pemegang lisensi seperti Microsoft harus berNegosiasi agar memenuhi syarat untuk persyaratan RAND.

- **April 2012**

Motorola dianugerahi perintah pengadilan Jerman terhadap Microsoft, yang melarang Microsoft menjual produk yang diduga melanggar di Jerman.

- **Mei 2012**

Pengadilan distrik A.S. memberikan perintah antisuit kepada Microsoft. Perintah antisuit ini mencegah Motorola memberlakukan perintah pelanggaran paten asing (Jerman).

- **September 2012**

Kasus ini dibawa ke pengadilan Banding dalam banding sela oleh Motorola. Pengadilan Banding Sirkuit Kesembilan menguatkan keputusan Pengadilan Distrik, sehingga menghentikan Motorola untuk mencegah penjualan beberapa produk Microsoft di Jerman.

- **September 2013**

Juri memutuskan bahwa Motorola melanggar kewajiban RAND, dengan suara bulat memberikan ganti rugi Rp. 14.5 Miliar kepada Microsoft ^[49].

15.13 Strategi untuk Menghindari Litigasi

Bagian ini memberikan dua opsi yang memungkinkan untuk menghindari litigasi paten, yaitu pengumpulan paten dan akurasi RAND.

15.13.1 Pengumpulan Paten

Dalam hukum paten, kumpulan paten adalah konsorsium dari setidaknya dua perusahaan yang menyetujui paten lintas lisensi yang berkaitan dengan teknologi tertentu. Pembuatan kumpulan paten dapat menghemat waktu pemegang paten dan pemegang lisensi, memperoleh dan mengurangi jumlah royalti, dan mengurangi pertempuran litigasi ^[50].

Kumpulan paten kondusif untuk menyebarkan standar dengan membuat perizinan menjadi mudah dan royalti masuk akal. Kumpulan paten LTE, yang dikelola oleh Via Licensing, didirikan pada Oktober 2012 untuk melayani tujuan yang sama. Perjanjian Lisensi Paten LTE dari Via Licensing menyediakan akses ke semua paten dari pemberi lisensi yang berpartisipasi yang penting untuk penerapan standar 3GPP LTE. Royalti tidak dihitung sebagai persentase dari harga produk tetapi dipungut dalam jumlah tetap terlepas dari harga produk ^[51,52].

Program ini memiliki kurang dari 40 pemberi lisensi dan belum terlalu berhasil karena banyak pemegang paten penting LTE masih belum ada dalam daftar. Pemegang paten kunci LTE seperti Apple, Ericsson, Huawei, dan Qualcomm, masih belum mengikuti program ^[53].

Keberhasilan pendekatan ini masih harus ditentukan ^[54].

15.13.2 Efektivitas RAND

Banyak SDO, dalam upaya untuk mengurangi kemungkinan penahanan paten⁹⁴ dan meningkatkan persaingan, meminta agar pemegang paten esensial standar apa pun setuju untuk melisensikan paten ini secara adil dan tidak membatasi. Organisasi, di bawah kemauan mereka sendiri, dapat melisensikan paten esensial standar pada persyaratan RAND di seluruh dunia, secara nondiskriminatif kepada SDO.

Namun, seperti yang ditunjukkan dalam kasus Microsoft versus Motorola, litigasi masih menemukan tempatnya. Dengan demikian, Hakim James L. Robart 207 halaman urutan pengaturan persyaratan royalti RAND dalam kasus ini dapat berlaku untuk kasus serupa. Rekomendasinya berikut dapat diadopsi untuk mengurangi litigasi yang melibatkan RAND^[55].

- Royalti RAND harus ditetapkan pada tingkat yang konsisten dengan tujuan SDO untuk mempromosikan adopsi standar mereka secara luas.
- Metodologi yang tepat untuk menentukan royalti RAND akan mengurangi risiko penahanan paten.
- Metodologi yang tepat untuk menentukan royalti RAND akan mengatasi risiko penumpukan royalti dengan mempertimbangkan royalti agregat yang akan berlaku jika

15.14 Kesimpulan

Dengan mengingat 5G, manajemen spektrum, efisiensi energi, dan aspek manajemen portofolio paten akan menjadi lebih berharga karena kematangan dan kompleksitas jaringan.

- Manajemen Spektrum: Bab ini menyarankan beberapa teknik untuk mengelola spektrum bersama dengan studi kasus lelang.
- Manajemen Energi: Teknik penghematan energi yang dibahas sangat relevan, terutama untuk mendapatkan ROI pada jaringan 3G/4G dan 5G masa depan di negara berkembang.
- Manajemen Portofolio Paten: Kompleksitas akan meningkat dengan masuknya lebih banyak pemain dan karena potensi konvergensi media, telekomunikasi, dan TI. Solusi untuk menghindari litigasi seperti yang dibahas akan membantu mengurangi perang paten di masa depan.

Terakhir, studi kasus yang disajikan memberikan pelajaran yang dapat digunakan dalam fase standarisasi dan implementasi 5G.

15.15 Pertanyaan

1. Tentukan manajemen spektrum?
2. Apa perbedaan antara alokasi spektrum dan penugasan?
3. Sebutkan alasan utama yang menghambat alokasi yang wajar untuk layanan IMT di masa depan?

⁹⁴ Hold-up mengacu pada kemampuan pemegang paten esensial standar untuk menuntut lebih dari nilai teknologi yang dipatenkan dan untuk mencoba menangkap nilai standar itu sendiri.
Telekomunikasi Digital 5 G (Dr. Agus Wibowo)

4. Elemen jaringan mana yang menghabiskan sebagian besar energi dan bagaimana konsumsinya?
5. Sebutkan beberapa teknik kunci untuk meningkatkan efisiensi PA?
6. Jelaskan konsep pembesaran sel?
7. Apa sajakah sumber energi alternatif?
8. Apa yang dimaksud dengan paten esensial standar?
9. Apa yang dimaksud dengan paten mani?
10. Apa itu perang paten?
11. Jelaskan pengumpulan paten?
12. Apa itu RAND?

15.16 Referensi

1. Asif, S. 2011. Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile Communications. Wiley Inc., UK.
2. ITU-R 2013. Spectrum Management Fundamentals, Part1—Internastional, The Need for Spectrum Management, ITU Regional Radiocommunication Seminar for Americas
3. Manikkoth, S. 2014. Spectrum Scarcity—An AlterNate View (in Special Interest Group Cognitive Radio in 5G White Paper Novel Spectrum Usage Paradigms for 5G). Cognitive Networks Technical Committee, IEEE Communications Society.
4. ITU-R 1997. Final Acts WRC-97. World Radiocommunication Conference, Geneva, Switzerland, 27th October—21st November 1997.
5. ITU-R 2015. Final Acts WRC-15. World Radiocommunication Conference, Geneva, Switzerland, 02-27 November 2015.
6. ITU-R 2012. Radio Regulations—Articles—Edition of 2012.
7. Asif, S.Z. 2017. World Radiocommunication Conference 2015 Results and Urnesolved UHF Case. (Under Consideration).
8. Ministry of Information Technology, Governmentof Pakistan 2015. Telecommunications Policy 2015.
9. DAWN Newspaper 2016. AGP (Auditor General of Pakistan) to Look into Auction of 3G, 4G Spectrums.
10. Asif, S.Z. 2008. Broadband Technology Management & Evaluation. 2008 Internastional Conference on Computer and Electrical Engineering, Phuket, Thailand, Dec. 20–22, 2008, pp. 271–275.
11. Maio, A.D. 2007. Green IT: A New Industry Shockwave. Presentation at Symposium/ITXPO Conference, April.
12. SMART 2020 - The Climate Group 2008. Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age. <http://www.smart2020.org/>
13. Goran, P., Garma, T. and Lorincz, J. 2012. Measurements and Modelling of Base Station Power Consumption under Real Traffic Loads. Sensors, 12:4281–4310. DOI:10.3390/s120404281.

14. Hasan, Z., Boostanimehr, H. and Bhargava, V.K. 2011. Green Cellular Networks: A Survey, Some Research Issues and Challenges. Cornell University, arXiv:1108.5493v3 [cs.NI] 24 Sep 2011.
15. Claussen, H., Ho, L.T.W. and Pivit, F. 2008. Effects of Joint Macrocell and Residential Picocell Deployment on the Network Energy Efficiency. IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Cannes, France, Sep. 15–18, 2008.
16. Armour, S. et al. 2011. Green Radio: Radio Techniques to Enable Energy-Efficient Wireless Networks. IEEE Communications Magazine, 49(6):46–54.
17. Chen, T., Kim, H. and Yang, Y. 2010. Energy Efficiency Metrics for Green Wireless Communications. Proceedings of the International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), Suzhou, China, October 21–23
18. Alsharif, M.H., Nordin, R. and Ismail M. 2013. Survey of Green Radio Communications Networks: Techniques and Recent Advances. Hindawi Publishing Corporation. Journal of Computer Networks and Communications, Volume 2013, Article ID 453893, 13 pages. DOI:10.1155/2013/453893.
19. Murthy, C.R. and Kavitha, C. 2012. A Survey of Green Base Stations in Cellular Networks. IRASCT— International Journal of Computer Networks and Wireless Communications, 2(2):232–236
20. Gong, J. et al. 2010. Cell Zooming for Cost-Efficient Green Cellular Networks. IEEE Communications Magazine, 48(11):74–79.
21. Bettstetter, C. 2015–16. Cooperative Relaying in Wireless Networks. <http://bettstetter.com/research/relay>
22. Tweed, C. 2013. Why Cellular Towers in Developing Nations Are Making the Move to Solar Power. Scientific American <http://www.scientificamerican.com/article/cellular-towers-moving-to-solar-power/>
23. Motorola Solutions 2007. Alternative Power for Mobile Telephony Base Stations, Solutions Paper.
24. GSMA 2010. Green Power for Mobile Community Power. <http://www.gsmworld.com/greenpower>
25. 3GPP TR 36.887 (V12.0.0) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Study on Energy Saving Enhancement for E-UTRAN. Technical Report (Release 12), Technical Specification Group Radio Access Network, 3GPP, March.
26. Quittek, J. (ed). 2010. Requirements for Power Monitoring. Internet Draft, Network Working Group, IETF. <http://tools.ietf.org/html/draft-quittek-power-monitoring-requirements-02>
27. Quittek, J. (ed). 2010. Definition of Managed Objects for Energy Management. Internet Draft, Network Working Group, IETF. <http://tools.ietf.org/html/draft-quittek-power-mib-02>
28. Min, C. et al. 2011. A Survey of Green Mobile Networks: Opportunities and Challenges. Mobile Networks and Applications. Springer Science+Business Media, LLC. DOI:10.1007/s11036-011-0316-4
29. IndexMundi. 2016. Diesel Monthly Price - Pakistan Rupee per Gallon. <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=diesel&months=300¤cy=pk>

30. INCPak 2016. Petrol Prices in Pakistan. <http://www.incpak.com/info/petrol-prices-pakistan/>
31. Thomson Reuters 2012. Inside the iPhone Patent Portfolio, September.
32. GSMA Intelligence 2016. Global Mobile Trends.
33. iRunway 2013. 2G & 3G Mobile Communication.
34. Ericsson 2012. Essential Patents and LTE, September.
35. iRunway 2012. Patent & Landscape Analysis of 4G-LTE Technology.
36. Cyber Creative Institute Co. Ltd 2013. Evaluation of LTE Essential Patents Declared to ETSI (Version 3.0), June.
37. Rowinski, D. 2012. Patent Wars TuRN Tech into a Battlefield. ReadWriteWeb.
38. Francis, T. 2012. Can You Get A Patent On Being A Patent Troll? NPR.
39. Sascha, S. 2012. Infographic: Smartphone Patent Wars Explained. PC Magazine.
40. Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
41. Digital Trends 2014. Why Are Apple and Samsung Throwing Down? A timelines of the Biggest Fight in Tech. <http://www.digitaltrends.com/mobile/apple-vs-samsung-patent-war-timeline/>
42. Barrett, P.M. 2012. Apple's War on Android. Bloomberg Businessweek. Bloomberg.
43. Albanesius, C. 2011. Every Place Samsung and Apple Are Suing Each Other. PC Magazine (Ziff Davis).
44. Pyett, A. (Reporting), Lincoln, F. (Writing) and Davies, E. (Editing). 2011. Australian Court to Fast-Track Samsung Appeal on Tablet Ban. Reuters (Sydney: Thomson Reuters).
45. Mueller, F. 2012. Apple Seeks \$2.5 Billion in Damages from Samsung, Offers Half a Cent per Standard Essential Patent. FOSS Patents.
46. Essential Patent Blog 2014. Microsoft v. Motorola, Inc. <http://www.essentialpatentblog.com/?s=Microsoft+v.+Motorola>
47. Microsoft v. Motorola, 696 F.3d 872 (United States Court of Appeals for the Ninth Circuit 2012).
48. Shu, C. 2013. Federal Jury Orders Motorola Mobility To Pay Microsoft \$14.5 Million In Patent Case. TechCrunch.
49. Internastional Mfg. Co. v. Landon, 336 F.2d 723, 729 (9th Cir. 1964) The Pooling of the Patents, Licensing All Patents in the Pool collectively, and Sharing royalties Is Not Necessarily An Antitrust Violation. In a Case Involving Blocking Patents Such An Arrangement Is the Only Reasonable Method for Making the Invention Available to the Public.
50. Kosaka, T. and Kerr, C. 2013. Establishment of LTE Patent Pool. NTT DoCoMo Technical Journal, 14(4):54–59.
51. Via Licensing 2012. Long Term Evolution—Standards-Essential Patent Licensing.
52. Via Licensing 2016. Licensor Partners. <http://www.via-corp.com/licensing/partners.html>
53. Center on Law and Information Policy (At Fordham Law School) 2012. The Impact of the Acquisition and Use of Patents on the Smart Phone Industry.

54. Leech Tishman Fuscaldo & Lampl, LLC 2013. Latest High-Profile Software Decision Tackles StandardEssential Patents. <http://usip.com/Publications/EyeonIP/130514.html>
55. Sprint Corporation <http://www.sprint.com/>
56. Sharma, C. 2013. Mobile Patents Landscape—An In-depth Quantitative Analysis, 2nd Edn. Chetan Sharma Consulting, Washington, DC, USA.
57. IEEE 2012. Patent Power 2012. <http://spectrum.ieee.org/at-work/innovation/patent-power-2012/> constructing-the-patent-power-scorecard
58. IEEE Spectrum 2013. Interactive: Patent Power 2013. http://spectrum.ieee.org/static/interactive-patentpower-2013#anchor_cie
59. METIS D1.4 V1.0, "METIS Channel Models," ICT-317669, METIS project, Feb. 2015. <https://www.metis2020.com/>
60. "5G Vision and Requirements", IMT-2020 (5G) Promotion Group. May 2014.
61. 3GPP TR36.843, "Study on LTE Device to Device Proximity Services, Radio Aspects," 3rd Generation Partnership Project, V12.0.1, March 2014. <http://www.3gpp.org>
62. MiWEBA D5.1, "Channel Modeling and Characterization," FP7-ICT-608637, V1.0, June 2014. <http://www.miweba.eu>
63. METIS D5.1, "Intermediate description of the spectrum needs and usage principles," V1.0, ICT-317669, METIS project, August 2013. <https://www.metis2020.com>
64. 3GPP TR 38.900, "Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz", v14.0.0 2016
65. W. Roh, Ji-yun seol, Jeongho park, et al. Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: theoretical feasibility and prototype results. IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 2, pp.106-113, 2014.
66. Su-Khiong Yong, "IEEE P802.15 Wireless Personal Area Networks - TG3c Channel Modeling Sub-committee Final Report," IEEE 15-07-0584-01-003c, March 2007
67. A. Maltsev, V. Erceg, E. Perahia, C. Hansen, R. Maslennikov, A. Lomayev, A. Sevastyanov, A. Khoryaev, G. Morozov, M. Jacob, S. Priebe, T. Kürner, S. Kato, H. Sawada, K. Sato and H. Harada, "Channel Models for 60 GHz WLAN Systems," IEEE 802.11ad 09/0334r8, 2010.
68. A. Maltsev, A. Pudeyev, Y. Gagiev, et.al., "Channel Models for IEEE 802.11ay", IEEE 802.11-15/1150r9, 2016
69. H2020-ICT-671650-mmMAGIC/D2.1. "Measurement Campaigns and Initial Channel Models for Preferred Suitable Frequency Ranges", 2016. <https://bscw.5g-mmmagic.eu/pub/bscw.cgi/d94832/mmMAGICD2-1.pdf>
70. 5GCM White Paper, "5G Channel Model for bands up to 100 GHz", v2.0, 2016. <http://www.5gworkshops.com/>
71. WINNER II D1.1.2, "Channel models," IST-4-027756 V1.2, Sept. 2007. Online] Available: <http://www.istwinner.org/deliverables.html>
72. ITU-R M.2135-1, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced," International Telecommunication Union (ITU), Geneva, Switzerland, Technical Report, December 2009.
73. K. Zheng, S. Ou, and X. Yin, "Massive MIMO channel models:A survey," International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2014, 2014

74. C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2012.
75. S. Wu, C.-X. Wang, H. Aggoune, M. M. Alwakeel, and Y. He, "A non-stationary 3D wideband twin-cluster model for 5G massive MIMO channels," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1207-1218, June 2014.
76. X. Gao, F. Tufvesson and O. Edfors, "Massive MIMO channels: Measurements and models." in *Proc. of 2013 Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 2013
77. S. Jaeckel, L. Raschkowski, K. Börner and L. Thiele, "QuaDRiGa: A 3.D Multicell Channel Model with Time Evolution for Enabling Virtual Field Trials," *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 2014. <http://quadriga-channel-model.de>
78. T. S. Rappaport, G. R. Maccartney, M. K. Samimi, et al. *Wideband Millimeter-Wave Propagation Measurements and Channel Models for Future Wireless Communication System Design*. *IEEE Transactions on Communications*, vol.63, no. 9, pp.3029-3056,2015.
79. G. Calcev, D. Chizhik, B. Goeransson, S. Howard, H. Huang, A. Kogiantis, A. F. Molisch, A. L. Moustakas, D. Reed and H. Xu, "A Wideband Spatial Channel Model for System-Wide Simulations," *IEEE Trans. Vehicular Techn.*, March 2007
80. Matthias Patzold, *Mobile Radio Channels*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2012
81. Y. Yuan, C.-X. Wang, Y. He, M. M. Alwakeel, and H. Aggoune, "Novel 3D wideband non-stationary geometry-based stochastic models for non-isotropic MIMO vehicle-to-vehicle channels," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol 13, no. 1, pp. 298-309, 2014.
82. A. Ghazal, C.-X. Wang, B. Ai, D. Yuan, and H. Haas, "A non-stationary wideband MIMO channel model for high-mobility intelligent transportation systems," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 2, pp. 885-897, Apr. 2015
83. A. M. Sayeed, "Deconstructing multiantenna fading channels," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 50, no. 10, pp. 2563–2579, Oct. 2002.
84. W. Weichselberger, M. Herdin, H. Ozelik, and E. Bonek, "A stochastic MIMO channel model with joint correlation of both link ends," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 1, pp. 90-100, Jan. 2006
85. J. Hoydis, S. ten Brink, and M. Debbah, "Massive MIMO in the UL/DL of cellular networks: how many antennas do we need?" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 31, no. 2, pp. 160–171, 2013.

BAB 16

JALAN CEPAT : MAJU CEPAT KE TAHUN 2040

Apa yang telah dijelaskan dalam buku ini sebagian besar berkaitan dengan cara tradisional melakukan bisnis komunikasi seluler. Apa yang mungkin perlu dilakukan adalah melihat gambaran yang lebih besar dan masa depan jangka panjang dari sektor ICT⁹⁵ secara keseluruhan. Target yang dideklarasikan sendiri adalah tahun 2040.

16.1 Gambar Tertentu

Empat puluh tahun yang lalu, siapa yang akan meramalkan dunia komunikasi seluler yang kita jalani saat ini; dunia menara seluler lengkap dan gadget genggam, yang memenuhi kebutuhan miliaran orang.

Berapa lama cara komunikasi ini akan bertahan adalah dugaan siapa pun. Namun, sudah pasti bahwa kita akan berkomunikasi dengan cara yang jauh berbeda dalam 10-20 tahun ke depan dibandingkan dengan cara yang kita lakukan hari ini.

Laju cepat komersialisasi mengambil korban di setiap aspek kehidupan. Dalam hal komunikasi seluler, kami ingin mengakses informasi yang diperlukan dan hasilnya dalam sekejap mata. Namun, dorongan untuk kepuasan instan bukanlah tren yang sangat sehat

2G menghadirkan telepon suara seluler dan digitalisasi pada 1990-an, 3G menghadirkan data seluler pada 2000-an, sementara 4G menyediakan koneksi data yang lebih cepat dan pengalaman pengguna yang lebih baik di tahun 2010-an. Ada kira-kira 10 tahun masa transisi dari satu generasi ke generasi berikutnya. Namun, sektor komunikasi seluler membawa LTE (antara 3G dan 4G) di akhir 2000-an untuk bersaing dengan teknologi IEEE WiMAX dan berhasil menghilangkannya.

LTE ke 4G (LTE-Advanced) dan LTE-Advanced Pro tidak membawa apa pun secara tiba-tiba dan mungkin perlu dipertimbangkan untuk masa depan sektor ITC. Transisi cepat karena persaingan teknologi dan kebutuhan komersial tidak selalu berakhir bahagia.

5G, yang kami harapkan akan terlihat pada tahun 2020, perlu melihat gambaran yang lebih besar dan dapat menghadirkan solusi yang luar biasa. Mencari di luar 5G dan bukan ke masa depan yang jauh, yaitu 2040, adalah penting bahwa sektor ini secara kolektif melihat untuk mengubah arena TIK

16.2 Mengapa Tahun 2040 ?

Pertanyaan pertama yang muncul di benak adalah mengapa 2040, mengapa tidak beberapa tahun target yang berbeda. Mengapa tidak mengikuti pameran dunia tahun 2064 (jika ada!), mengikuti tradisi yang terjadi 100 tahun sebelumnya pada tahun 1964^[1].

Tahun 2040 bukanlah tahun yang ajaib, tetapi sektor ini membutuhkan target dan dua hal berikut ini mendukungnya:

- Pertama, Generasi Z, yaitu generasi pertama yang lahir memiliki handphone dan Internet. Tidak ada kesepakatan seperti itu pada tanggal mulai dan akhir untuk

⁹⁵ ICT adalah istilah umum yang mencakup telekomunikasi termasuk telepon seluler, komputer, InteNRet, dan teknologi sistem informasi.

generasi, namun, itu mencerminkan mereka yang lahir dari 1995 hingga 2012 [2-4]. Generasi manusia berikutnya (Generasi Z+1) akan menjadi generasi pertama yang orang tua kandungnya adalah penerima dan penggerak komunikasi digital yang sebenarnya. Generasi ini bisa jadi mereka yang lahir/akan lahir dari 2013 hingga mungkin 2030. Jadi, fokus komunikasi seluler generasi ke-6/7 mungkin ada pada Generasi Z dan generasi penerusnya (Generasi Z+1), yang kira-kira membawa kita ke tahun 2040-an/2050-an.

- Kedua, setelah peluncuran jaringan 5G pada tahun 2020-an, akan ada waktu yang cukup sekitar 10-15 tahun lagi untuk ROI pada LTE/4G dan 5G dan untuk menangkap pembelajaran.

Secara keseluruhan, ini akan memberikan cukup waktu untuk melihat ke belakang dan memahami upaya baik, buruk, dan buruk selama 30 tahun terakhir (2000-an–2030-an) dan menghadirkan teknologi dan solusi yang dapat mengubah sektor TIK yang belum pernah kita lihat sebelumnya. tahun 2000-an. Jaringan TIK masa depan hipotetis ditunjukkan pada Gambar 16.1.

16.3 Tren Besar Utama

Tujuan dari bagian ini adalah untuk membuat daftar beberapa tren skala besar yang sedang terjadi dan yang mungkin terjadi selama perjalanan kita menuju tahun 2040. Beberapa perkembangan dapat diprediksi dengan kepastian tinggi dan beberapa dengan kurang.

Konvergensi Total IT dan Telekomunikasi: Konvergensi antara IT dan Telecom menuju TIK sudah pada tahap yang matang. Namun, saat ini kami memiliki perusahaan terpisah yang menyediakan layanan TI dan telekomunikasi. Bahkan di banyak perusahaan operator telekomunikasi, terdapat organisasi telekomunikasi dan TI terpisah yang dipimpin oleh CTO (Chief Technical Officer) dan CIO (Chief Information Officer), masing-masing. Dalam 5-10 tahun ke depan, kita dapat mengharapkan lebih banyak konsolidasi dan konvergensi. Pembelian bisnis ponsel Nokia oleh Microsoft adalah langkah ke arah itu

Akselerasi ISP di Telekomunikasi: Peran ISP di telekomunikasi semakin meningkat. Google telah membuat banyak terobosan untuk bergabung dengan kereta musik dan tren ini akan terus berlanjut.

Telekomunikasi dan Media: Batas antara telekomunikasi dan media/penyiaran memudar. Saat ini, konten diproduksi oleh perusahaan media dan dikirimkan melalui Internet melalui jaringan penyedia layanan telekomunikasi. Operator seluler membuat kemajuan untuk mengakuisisi perusahaan media.

Minimisasi Jaringan: LTE menghilangkan satu elemen kunci, yaitu radio controller, dari jaringan. 5G dapat membawa lebih banyak minimalisasi dalam jaringan. Pada tahun 2040, fokusnya mungkin untuk menguranginya menjadi tiga domain, akses, transportasi, dan aplikasi (konten), di mana mungkin satu kotak dapat menyediakan jaringan akses radio, jaringan inti, dan fungsi pendukung operasi.

Alternatif untuk Silikon: Penelitian sedang dilakukan untuk menemukan dan membangun bahan yang lebih cocok daripada silikon untuk komputasi, elektronik, dan chip jaringan. Penekanan dapat terus dilakukan pada menemukan alternatif yang tersedia secara luas secara alami dan memiliki sifat kimia yang sangat baik.

Energi Terbarukan: Biaya energi meningkat, sumber daya energi menurun, dan disipasi energi tidak ramah lingkungan. Fokusnya mungkin perlu terus berada pada sumber alternatif yang lebih murah dan pada perangkat dan peralatan yang ramah energi.

Terlalu Banyak Data: Lalu lintas IP global tahunan diperkirakan akan mencapai 3,3 Zettabytes pada tahun 2021^[5]. Tren ini dapat meningkat karena semakin banyak pengguna dan Generasi Z+1 bergabung. Sektor ini perlu mempersiapkan dunia di mana segala sesuatu dan semua orang terhubung dan mengkonsumsi dan memancarkan informasi. Bagaimana menangkap, menyimpan, menganalisis, dan menghasilkan hasil yang berarti masih menjadi pertanyaan besar dan belum terjawab.

Keamanan Cyber: Ini adalah kata buzz dan akan terus berlanjut untuk tahun-tahun mendatang. Kebijakan nasional di beberapa negara masih terus dikembangkan. Secara keseluruhan, tujuan keamanan tidak boleh menghalangi investasi, inovasi, dan penyediaan layanan telekomunikasi.

16.4 Kesimpulan Akhir

Tujuan dari bagian ini adalah agar forum global seperti ITU, administrasi ICT, dan regulator mulai memikirkan hal ini selain rutinitas normal, acara tahunan, dan rencana jangka panjang 3-5 tahun mereka.

Jadi, mari kita mulai,

Riset Dasar: Salah satu elemen terpenting untuk kemajuan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi termasuk TIK adalah pengabdian terhadap penelitian dasar. Penelitian dasar telah terpuak keras oleh laju cepat komersialisasi dan kepicikan industri.

Laser hanyalah salah satu contoh, seperti yang dijelaskan pada bab kedua, yang muncul dari penelitian dasar yang memiliki dampak revolusioner pada TIK. Untuk menemukan aplikasi pembunuh berikutnya, mungkin bermanfaat untuk berinvestasi dalam penelitian dasar.

Untuk membawa revolusi berikutnya dalam TIK, adalah sangat penting bahwa dana dimasukkan ke dalam penelitian dasar dengan bobot yang dapat diabaikan pada ROI. Investasi jangka panjang ini tidak mudah bagi para pelaku industri. Dengan demikian, ITU sebagai platform bersama mungkin dapat mengambil peran utama.

Penelitian terapan sedang berlangsung, tetapi penelitian dasar adalah kebutuhan hari ini.

Generasi ke-6: Dalam 20 tahun ke depan, alih-alih mengikuti tren 10 tahun, mungkin bermanfaat untuk hanya maju satu generasi, yaitu ke 6G dan bukan ke 7G. Ini juga akan membantu memperlambat laju komersialisasi yang cepat dan memberikan kelegaan ekonomi bagi sektor secara keseluruhan.

Dunia Tanpa Menara Seluler: Orang perlu berkomunikasi dengan orang lain dan mengakses serta menyebarkan informasi. Namun, ini tidak berarti bahwa menara seluler diperlukan. Ini dapat diganti dengan titik akses ukuran kecil yang ramah lingkungan. Saat jaringan tumbuh di seluruh dunia, demikian juga jumlah menara seluler dan polusi. Dengan demikian, mungkin ada baiknya untuk mengganti menara ini dengan alternatif.

Spektrum: Dunia akan lebih terhubung secara nirkabel dan lebih sedikit kabel. Penggunaan data dan jumlah pelanggan yang terus meningkat menuntut spektrum yang semakin banyak.

WRC ITU, sebagai pihak yang bertanggung jawab atas alokasi frekuensi di seluruh dunia, mungkin perlu secara aktif melihat terahertz untuk konektivitas nirkabel.

Smart City: Kota pintar adalah salah satu yang mengadopsi solusi terukur yang memanfaatkan TIK untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meningkatkan kualitas hidup [6]. Tren ini mungkin tidak terbatas hanya pada negara-negara maju dan membutuhkan panen di kota-kota berkembang juga.

Perlindungan untuk Kami: Terakhir, privasi dan keamanan data adalah dan akan menjadi kebutuhan mendasar setiap orang. Cara yang efektif diperlukan untuk melindungi setiap gigitanya dengan biaya yang masuk akal.

Dan itu saja, semuanya, untuk saat ini, dan miliki masa kini dan masa depan yang damai dan sejahtera.

16.5 Referensi

1. Fortune 2014. The World's Fair of 2064. Fortune Asia Pacific Edition, 169(1):60
2. Horovitz, B. 2012. After Gen X, Millennials, What should Next Generation be? USA Today.
3. WJSchroer Company (Generations X, Y, Z and the Others. <http://socialmarketing.org/archives/generations-xy-z-and-the-others/>
4. Urban Dictionary. Generation Z. <http://www.urbandictionary.com/define.php?term=Generation%20Z>
5. Cisco 2017. The Zettabyte Era: Trends and Analysis.
6. Falconer, G. and M ITC hell, S. 2012. Smart City Framework—A Systematic Process for Enabling Smart + Connected Communities. Cisco.