



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KEUNGGULAN NEXT GENERATION MOBILE NETWORK  
TERHADAP JARINGAN WCDMA 3G DITINJAU DARI SISI  
TEKNOLOGI, KAPASITAS, DAN KUALITAS PENYEDIAAN  
LAYANAN**

**SKRIPSI**

**JOSHUA KRISTANTO**

**0706267824**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
KEKHUSUSAN TELEKOMUNIKASI  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KEUNGGULAN NEXT GENERATION MOBILE NETWORK  
TERHADAP JARINGAN WCDMA 3G DITINJAU DARI SISI  
TEKNOLOGI, KAPASITAS, DAN KUALITAS PENYEDIAAN  
LAYANAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**JOSHUA KRISTANTO**

**0706267824**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
KEKHUSUSAN TELEKOMUNIKASI  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk**

**Telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Joshua Kristanto**

**NPM : 0706267824**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 14 Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Joshua Kristanto  
NPM : 0706267824  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Keunggulan *Next Generation Mobile Network* terhadap Jaringan WCDMA 3G Ditinjau dari Sisi Teknologi, Kapasitas, dan Kualitas Penyediaan Layanan

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Arifin Djauhari MT  
NIP : 194904281980111001

()

Penguji : Ir. Djamhari Sirat M.Sc, Ph.D  
NIP : 130422592

()

Penguji : Catur Apriono ST, MT  
NIP: 041003007

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, kemurahan serta bimbingan-Nya yang memungkinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbandingan Jaringan WCDMA 3G dengan *Next Generation Mobile Network* dalam Pengadaan Layanan *Mobile Telephony*” tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka melengkapi syarat kelulusan dalam program pendidikan S1 di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Skripsi ini disusun berdasarkan data-data yang diperoleh dari berbagai sumber, baik dari referensi buku, jurnal, referensi yang didapatkan saat menjalani perkuliahan, serta melalui diskusi dengan Narasumber dari perusahaan operator seluler. Secara umum, bahasan yang diangkat dalam skripsi ini adalah membandingkan jaringan dari sisi teknologi, kualitas layanan, dan kapasitas jaringan terkait dengan kemampuannya dalam menyediakan layanan *mobile telephony*.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, penulisan skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik dan selesai pada waktunya. Oleh karena itu, atas terselesaikannya skripsi ini, penulis secara khusus ingin mengucapkan terima kasih kepada:

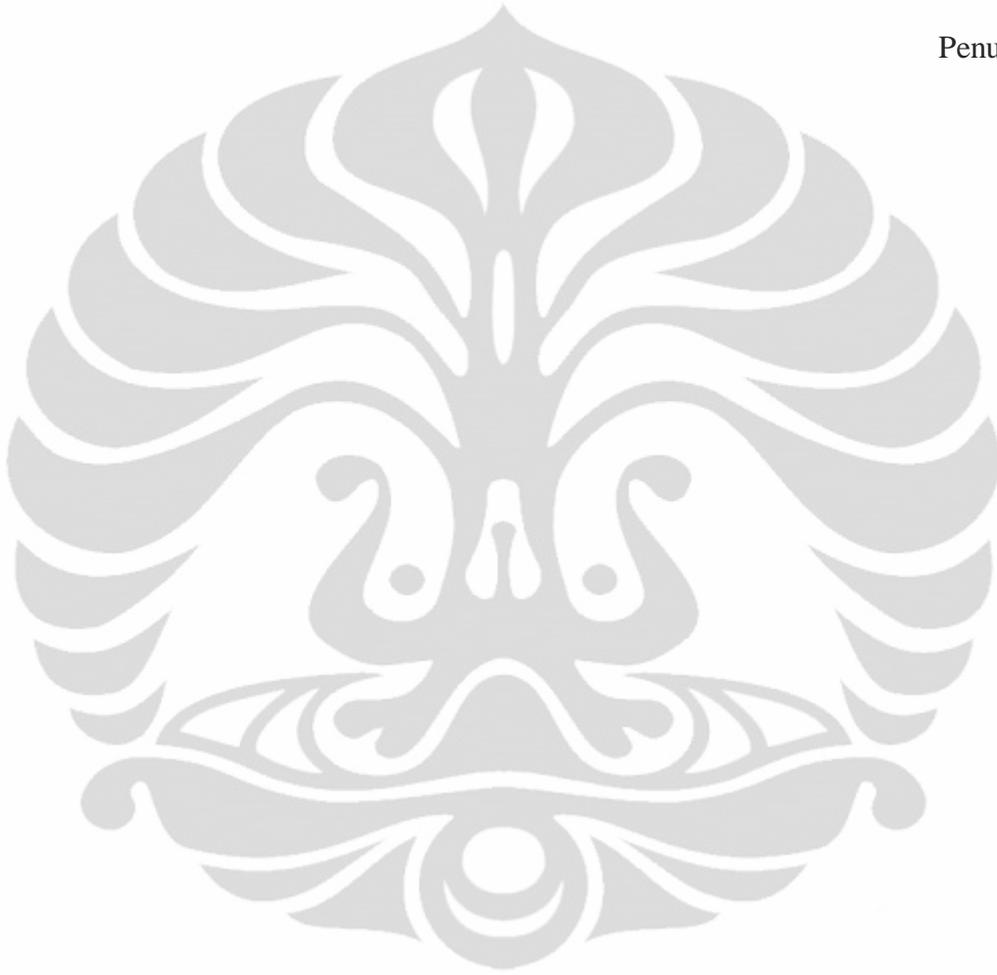
1. Bapak Ir. Arifin Djauhari MT yang telah bersedia menjadi pembimbing penulis selama penyusunan skripsi ini.
2. Sdr. David dan Sdr. Zainal yang telah memberikan banyak bantuan dan masukan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan perhatian, dukungan, dan doa.
4. Semua pihak yang telah membantu penulis selama pengerjaan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini, penulis mohon maaf kepada semua pihak yang berkaitan. Penulis juga sangat mengharapkan kritik dan

saran yang membangun untuk melengkapi kekurangan pada skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Terima kasih.

Depok, 12 Juni 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
SEMINAR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Joshua Kristanto  
NPM : 0706267824  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Keunggulan *Next Generation Mobile Network* terhadap Jaringan WCDMA  
3G Ditinjau dari Sisi Teknologi, Kapasitas, dan Kualitas Penyediaan  
Layanan**

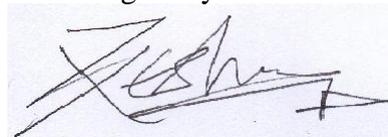
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencatumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 14 Juni 2011

Yang menyatakan



(Joshua Kristanto)

## ABSTRAK

Nama : Joshua Kristanto  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Keunggulan *Next Generation Mobile Network* terhadap Jaringan WCDMA 3G Ditinjau dari Sisi Teknologi, Kapasitas, dan Kualitas Penyediaan Layanan

*Next Generation Mobile Network* (NGMN) merupakan representasi sebuah model jaringan seluler baru yang berbasis Internet Protokol (IP) dalam menyediakan produk-produk seperti *voice*, multimedia, video dan sebagainya. Selama beberapa tahun terakhir, sejumlah operator telekomunikasi telah menyusun rencana untuk mengimplementasikan jaringan ini. Skripsi ini membahas perbandingan dari jaringan seluler generasi ke-3 (3G) dengan teknologi pertama yang diratifikasi sebagai NGMN, LTE, untuk melihat sejauh mana perbedaan kinerja antara keduanya serta dampak pengimplementasian jaringan NGMN ini. Dari hasil perbandingan didapati bahwa NGMN lebih unggul dibandingkan jaringan WCDMA 3G dalam ditinjau dari sisi teknologi, kapasitas, serta kualitas penyediaan layanan.

Kata Kunci : NGMN, LTE, WCDMA 3G

## ABSTRACT

Name : Joshua Kristanto  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Advantages of Next Generation Mobile Network to WCDMA  
3G Network Viewed from the side of Technology, Capacity,  
and Quality of Service Provision

Next Generation Mobile Network (NGMN) is a representation of a new cellular network model based on Internet Protocol (IP) in providing products such as voice, multimedia, video and etc. Over the past few years, a number of telecom operators have been making plans to implement this network. This thesis discusses the comparison of cellular 3rd generation network (3G) with the first technology that was ratified as the NGMN, LTE, to see how far the performance difference between them and the impact of implementing this NGMN network. From the results of the comparison found that NGMN is more superior than the WCDMA 3G network in terms of the technology, capacity, and quality of service provision.

Keywords : NGMN, LTE, WCDMA 3G

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Metode Penelitian .....	2
1.5 Sistematika Penulisan .....	2
<b>BAB 2 JARINGAN SELULER GENERASI KE-3 .....</b>	<b>4</b>
2.1 Teknologi Seluler Generasi ke-3 .....	4
2.1.1 Arsitektur Jaringan WCDMA .....	5
2.1.2 Teknologi Akses .....	8
2.1.3 Teknologi Transmisi .....	9
2.1.4 Teknologi Switching .....	10
2.2 Kapasitas .....	10
2.3 Fitur QoS Jaringan .....	13
2.3.1 QoS pada Jaringan IP .....	15
<b>BAB 3 NEXT GENERATION MOBILE NETWORK .....</b>	<b>18</b>
3.1 Next Generation Network .....	18
3.1.1 LTE .....	19
3.1.2 Arsitektur LTE .....	20
3.1.3 Teknologi Akses .....	22
3.1.4 Teknologi Transmisi .....	24

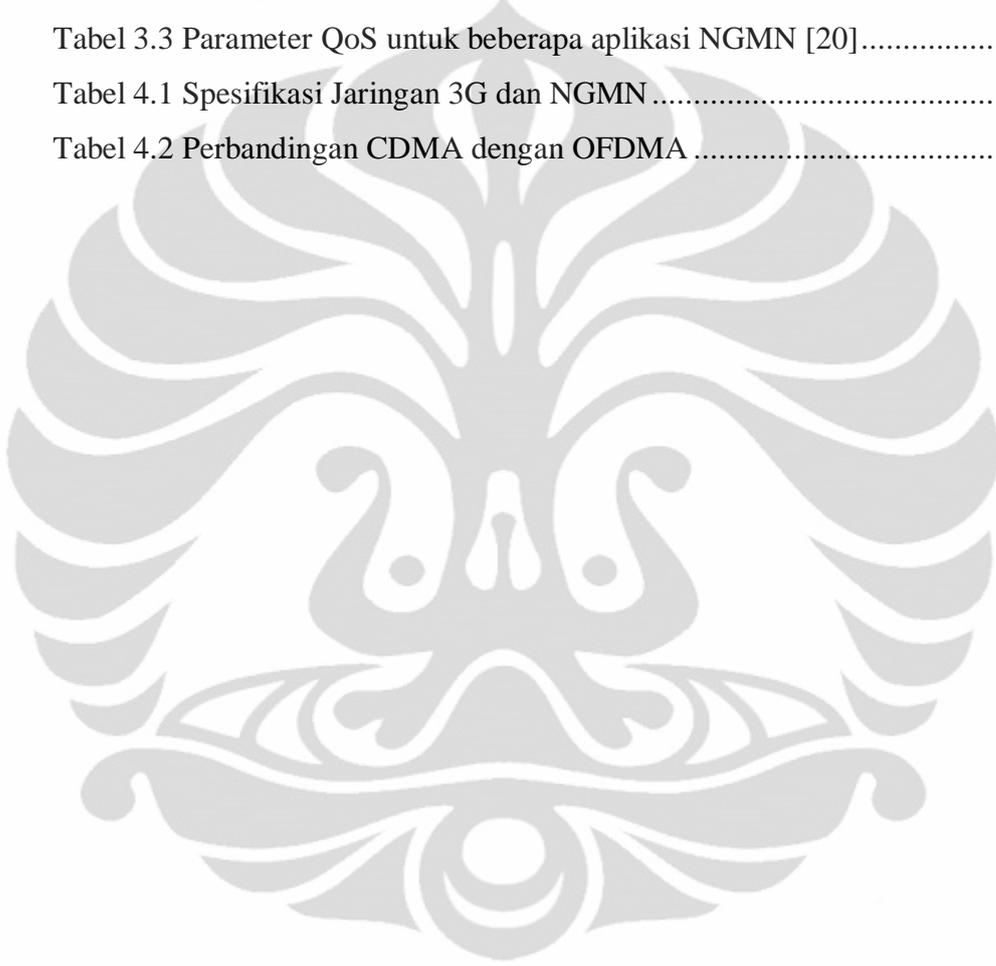
3.1.5	Teknologi Switching.....	25
3.2	Kapasitas .....	26
3.2.1	Frame Structure .....	26
3.2.2	Resource Block .....	27
3.2.3	Perhitungan Kapasitas .....	28
3.3	Fitur QoS Jaringan.....	30
<b>BAB 4 PERBANDINGAN JARINGAN WCDMA 3G DENGAN NGMN .....</b>		<b>33</b>
4.1	Spesifikasi Jaringan 3G dan NGMN .....	33
4.2	Perbandingan Teknologi .....	33
4.2.1	Perbandingan Arsitektur .....	34
4.2.2	Perbandingan Teknologi Akses.....	36
4.2.3	Perbandingan Teknologi Transmisi.....	42
4.2.4	Perbandingan Teknologi Switching .....	43
4.3	Perbandingan Kapasitas .....	44
4.4	Perbandingan Kualitas .....	46
4.5	Rangkuman Perbandingan Jaringan 3G dengan NGMN .....	49
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>		<b>51</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>		<b>52</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur jaringan WCDMA [7] .....	5
Gambar 2.2 Jaringan inti UMTS [7].....	6
Gambar 2.3 Arsitektur jaringan akses WCDMA [7] .....	7
Gambar 2.4 CDMA [4] .....	8
Gambar 2.5 Circuit Switching.....	10
Gambar 2.6 Voice Spectral Efficiency [9].....	11
Gambar 2.7 Fitur QoS 3G [12].....	13
Gambar 2.8 WCDMA round trip time budget [9].....	15
Gambar 2.9 DSCP pada DiffServ [13] .....	17
Gambar 3.1 Konvergensi pada NGN [16] .....	18
Gambar 3.2 Arsitektur LTE [19].....	21
Gambar 3.3 OFDMA [21].....	23
Gambar 3.4 Perbedaan OFDMA dengan SC-FDMA [22].....	24
Gambar 3.5 WDM [23].....	24
Gambar 3.6 Range panjang gelombang pada DWDM [23].....	25
Gambar 3.7 Struktur Frame tipe 1 [25].....	26
Gambar 3.8 Struktur Frame tipe 2 [25].....	26
Gambar 3.9 Resource Element dan Resource Block [25].....	28
Gambar 3.10 Voice Spectral Efficiency [20] .....	29
Gambar 3.11 SAE bearer model [20] .....	30
Gambar 3.12 End-to-end delay budget pada layanan VoIP LTE [20] .....	32
Gambar 4.1 Perbandingan Arsitektur Jaringan WCDMA 3G dan LTE .....	34
Gambar 4.2 Efek multipath fading pada single dan multiple carrier.....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Level Hirarki SDH .....	9
Tabel 2.2 Konsumsi Channel Element [11] .....	12
Tabel 3.1 Konfigurasi Frame tipe 2 [25] .....	27
Tabel 3.2 Konfigurasi Bandwidth Transmisi [25].....	28
Tabel 3.3 Parameter QoS untuk beberapa aplikasi NGMN [20].....	31
Tabel 4.1 Spesifikasi Jaringan 3G dan NGMN .....	33
Tabel 4.2 Perbandingan CDMA dengan OFDMA .....	41



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Next Generation Network* (NGN) merupakan suatu konsep jaringan yang dirancang untuk menjawab tuntutan perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi yang berkembang dengan sangat pesat. Jaringan telekomunikasi saat ini masih bersifat TDM yang terdiri dari beberapa jaringan terpisah untuk teknologi akses yang berbeda. Pada perkembangan selanjutnya, jaringan ini hanya akan terdiri dari satu jaringan data tunggal yang melayani semua jenis pelayanan, sehingga kuantitas data trafik akan terus meningkat serta memiliki efisiensi saluran yang tinggi dengan QoS terjaga. NGN, sebagai cikal bakal perkembangan jaringan, harus mampu mengelola dan menangani berbagai macam trafik sesuai kebutuhan pelanggan.

Terdapat dua industri yang menyelenggarakan jaringan telekomunikasi saat ini, yakni industri telepon *fixed* dan industri seluler. Industri telepon *fixed line* yang lebih dulu dikenal masyarakat jumlah pelanggannya relatif stabil, yakni 8,3 juta pelanggan<sub>[1]</sub>. Sementara industri seluler yang baru dikenal selama 15 tahun memiliki jumlah pelanggan 180 juta<sub>[2]</sub>. Mobilitas merupakan keunggulan utama dari teknologi seluler yang memungkinkan setiap pelanggan dapat mengakses jaringan untuk melakukan komunikasi dari mana saja.

Selama beberapa tahun terakhir, sejumlah operator telekomunikasi telah menyusun rencana untuk mengimplementasikan NGN dalam jaringan seluler (NGMN). Skripsi ini secara khusus akan membahas mengenai keunggulan NGMN terhadap jaringan mobile eksisting (jaringan WCDMA 3G) ditinjau dari sisi teknologi, kualitas layanan, dan kapasitas jaringan untuk melihat sejauh mana perbedaan kinerja antara keduanya serta dampak pengimplementasian jaringan NGMN tersebut.

## 1.2 Tujuan

Skripsi ini bertujuan untuk membahas keunggulan teknologi NGMN (LTE) terhadap jaringan seluler generasi ke tiga (3G) dengan membandingkan kedua jaringan dari sisi teknologi, kapasitas, dan kualitas penyediaan layanan.

## 1.3 Batasan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada skripsi ini meliputi pengenalan terhadap teknologi WCDMA 3G dan NGMN (LTE), meliputi arsitektur jaringan, teknologi akses, teknologi transmisi, teknologi switching, kapasitas, dan fitur QoS jaringan, kemudian membuat perbandingan berdasarkan karakteristik jaringan WCDMA 3G dan NGMN dari aspek teknologi, kapasitas, kualitas penyediaan layanan, serta pemilihan skema manajemen QoS untuk jaringan IP.

## 1.4 Metode Penelitian

Metode penulisan yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur, yakni dengan membaca tulisan-tulisan yang berhubungan dengan pokok bahasan dari perpustakaan, internet, dan sumber-sumber terpercaya lainnya.
2. Berdiskusi dengan Narasumber dari perusahaan operator seluler.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada skripsi ini adalah:

- **BAB I: PENDAHULUAN**  
Menjelaskan latar belakang, tujuan, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.
- **BAB II : JARINGAN SELULER GENERASI KE-3**  
Menjelaskan tentang konsep dasar dari teknologi 3G dari segi arsitektur jaringan, teknologi akses, teknologi transmisi, teknologi switching, kapasitas, dan fitur QoS jaringan, meliputi skema QoS yang mungkin diterapkan untuk jaringan IP.

- **BAB III : NEXT GENERATION MOBILE NETWORK**

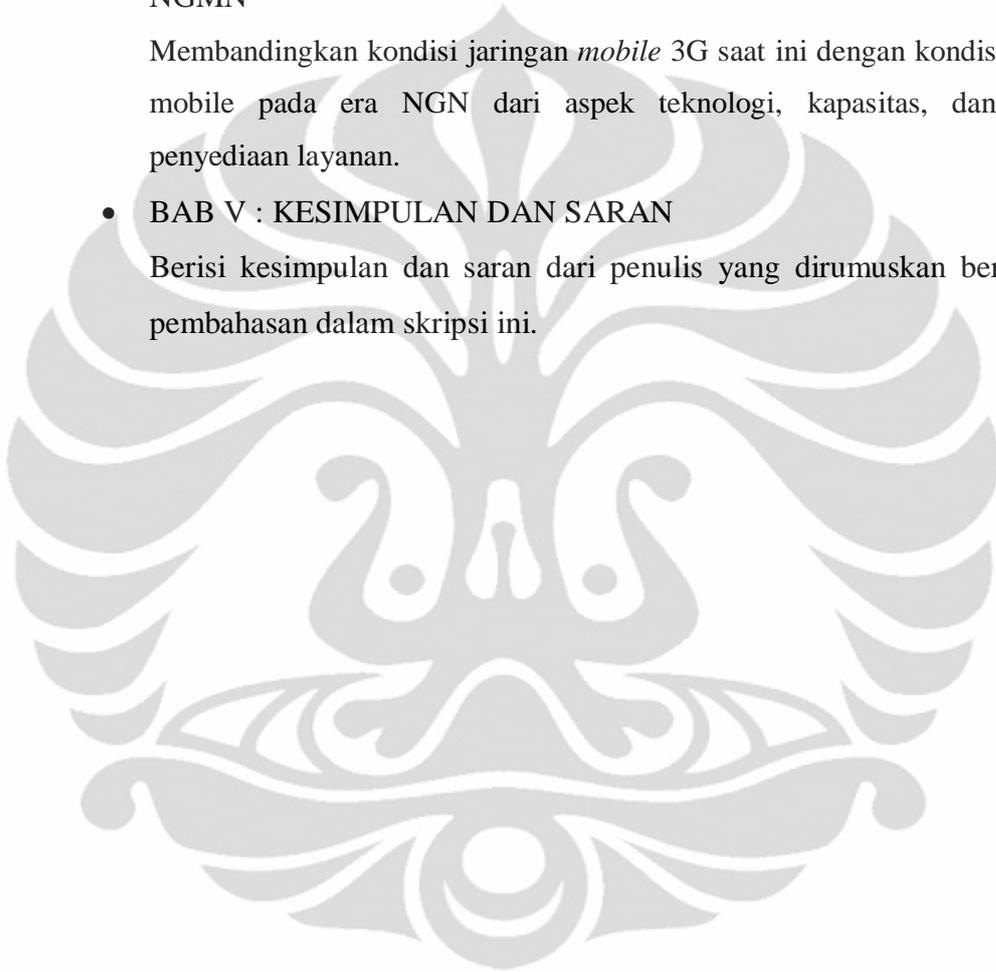
Menjelaskan mengenai *mobile telephony* era NGN (LTE) dari segi arsitektur jaringan, teknologi akses, teknologi transmisi, teknologi switching, kapasitas, dan fitur QoS jaringan.

- **BAB IV : PERBANDINGAN JARINGAN WCDMA 3G DENGAN NGMN**

Membandingkan kondisi jaringan *mobile* 3G saat ini dengan kondisi jaringan *mobile* pada era NGN dari aspek teknologi, kapasitas, dan kualitas penyediaan layanan.

- **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan dan saran dari penulis yang dirumuskan berdasarkan pembahasan dalam skripsi ini.



## BAB 2

### JARINGAN SELULER GENERASI KE-3

#### 2.1 Teknologi Seluler Generasi ke-3

Teknologi 3G (*Third-Generation Technology*) merupakan sebuah standar teknologi yang ditetapkan oleh *International Telecommunication Union* (ITU) berdasarkan IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*) untuk diaplikasikan pada jaringan telepon selular<sup>[3]</sup>. Berdasarkan standar tersebut, sistem 3G didefinisikan sebagai suatu teknologi komunikasi yang memiliki unjuk kerja sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

1. Memiliki laju data paket 2 Mbps untuk terminal atau perangkat yang diam (*stationary use*) di tempat.
2. Memiliki laju data 384 kbps untuk kecepatan orang berjalan (*pedestrian speeds*).
3. Memiliki laju data 144 kbps untuk kecepatan orang berkendara (*mobile speeds*, 100 km/jam).

Teknologi 3G berbasis digital dengan kecepatan tinggi (*high-speed*), untuk pita *broadband*) yang digelar dengan tujuan menyediakan suatu standar tunggal yang dapat memenuhi aplikasi-aplikasi nirkabel yang luas variasinya serta menyediakan akses yang sifatnya universal di seluruh dunia. Berikut ini merupakan ciri-ciri karakter yang dituju oleh 3G antara lain<sup>[5]</sup>:

- Memiliki standar yang bersifat global.
- Memiliki kualitas tinggi untuk suara, data dan gambarnya.
- Memiliki bentuk komunikasi yang bersifat multimedia.
- Meningkatkan efisiensi spektrum dan kapasitas jaringan.
- Untuk mencapai kecepatan transfer data yang lebih tinggi.
- Peningkatan kualitas layanan (*Quality of Service – QOS*).

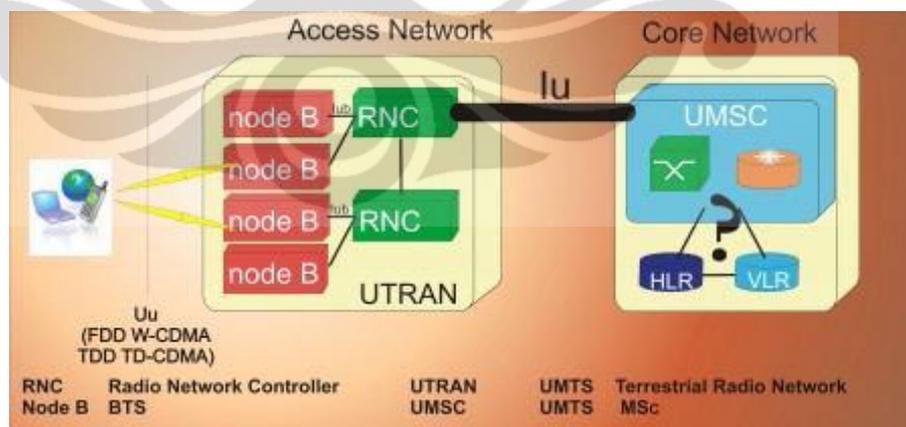
Tiga standar sistem komunikasi 3G yang diberlakukan di dunia saat ini adalah sebagai berikut<sub>[6]</sub>: yang pertama adalah *Wideband-CDMA (WCDMA)*, yang didukung oleh *Europea Telecommunications Standards Institute (ETSI)* dan operator GSM di Eropa dan tempat lain, yang kedua *CDMA2000 (CDMA2000 1X EV-DO & CDMA2000 1X EV-DV)*, didukung oleh komunitas CDMA Amerika Utara, dan yang ketiga *TD-SCDMA*, yang didukung oleh China. Dari tiga standar 3G tersebut, Indonesia menggunakan teknologi WCDMA.

### 2.1.1 Arsitektur Jaringan WCDMA

Jaringan dari WCDMA 3G terdiri dari Jaringan Inti (*Core Network*) dan Jaringan Akses Radio (*UTRAN*). Berikut penjelasannya lebih lanjut.

#### 2.1.1.1 Core Network

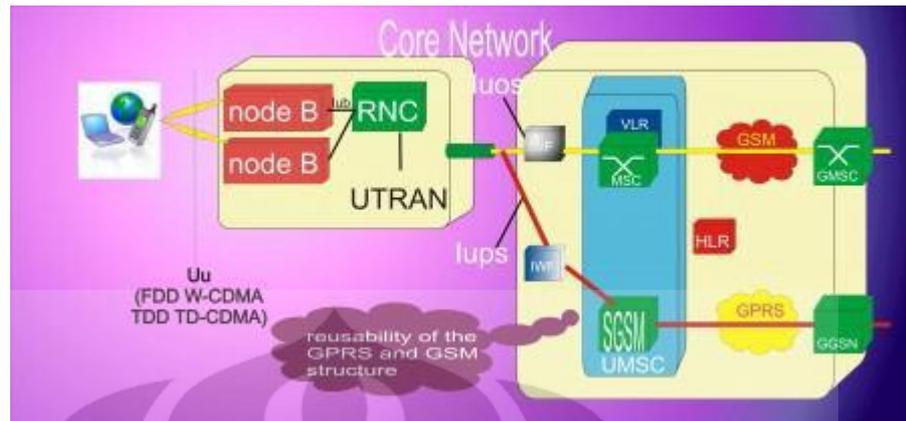
Jaringan Inti (*Core Network*) memiliki fungsi *switching*, manajemen jaringan serta sebagai *interface* untuk menghubungkan jaringan UMTS dengan jaringan telekomunikasi lainnya. Elemen ini juga mendukung pensinyalan dan transport informasi dari trafik, termasuk peringanan beban trafik. *Core Network* UMTS terdiri dari komponen-komponen berikut:



Gambar 2.1 Arsitektur jaringan WCDMA [7]

- **MSC (*Mobile Switching Center*)**

MSC didesain sebagai *switching* untuk layanan berbasis *circuit switch* seperti *voice* dan *video call*.



Gambar 2.2 Jaringan inti UMTS [7]

- **VLR (*Visitor Location Register*)**

VLR merupakan database yang berisi informasi sementara mengenai pelanggan terutama mengenai lokasi dari pelanggan pada cakupan area jaringan.

- **HLR (*Home Location Register*)**

HLR merupakan database yang berisi data-data pelanggan yang tetap, yang berisi mengenai layanan pelanggan, *service* tambahan serta informasi lokasi akhir pelanggan (*Update Location*).

- **SGSN (*Serving GPRS Support Node*)**

SGSN memiliki fungsi yang serupa dengan MSC/VLR hanya saja diperuntukkan untuk *packet switch*. SGSN merupakan gerbang penghubung jaringan BSS/BTS ke jaringan GPRS, yang berfungsi untuk mengantarkan packet data ke MS, update pelanggan ke HLR, serta registrasi pelanggan baru.

- **GGSN (*Gateway GPRS Support Node*)**

GGSN berfungsi sebagai *gerbang penghubung* dari jaringan GPRS ke jaringan paket data standard (PDN). GGSN berfungsi untuk menyediakan fasilitas *internetworking* dengan *eksternal packet-switch network* dan dihubungkan dengan SGSN *via Internet Protokol (IP)*.

### 2.1.1.2 Jaringan Akses Radio (UTRAN)

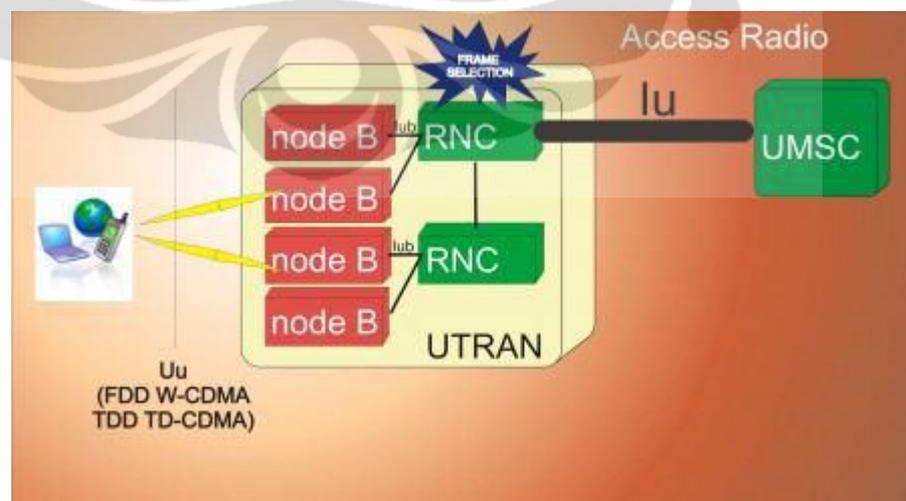
UTRAN (*Universal Mobile Telecommunications System Radio Access Network*) merupakan kumpulan dari *Radio Base System* (RBS) dan *Radio Network Controllers* (RNC) yang berfungsi menyediakan koneksi antara terminal mobile dan *Core Network*. UTRAN terdiri dari satu atau lebih Jaringan Sub-Sistem Radio (RNS). Sebuah RNS terdiri dari *Radio Network Controller* (RNC) dan satu atau lebih Node B.

- **RNC (*Radio Network Controller*)**

Berfungsi sebagai pengontrol *radio resources* pada UTRAN yang membawahi beberapa Node B, menghubungkan *Core Network* dengan *user*, dan merupakan tempat berakhirnya protokol RRC (*Radio Resource Control*) yang mendefinisikan pesan dan prosedur antara *mobile user* dengan UTRAN.

- **Node B**

Merupakan perangkat pemancar dan penerima yang memberikan pelayanan radio kepada UE. Fungsi utamanya adalah melakukan proses *channel coding*, *interleaving*, *spreading*, *de-spreading*, modulasi, dan demodulasi. Node B juga melakukan beberapa operasi RRM (*Radio Resource Management*), seperti *handover* dan *power control*.

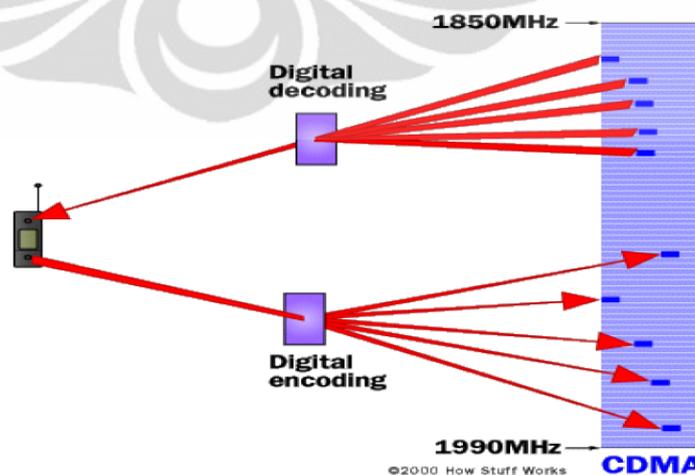


Gambar 2.3 Arsitektur jaringan akses WCDMA [7]

### 2.1.2 Teknologi Akses

Teknik akses yang digunakan WCDMA dalam standar 3G global UMTS adalah *Code Division Multiple Access* (CDMA). CDMA merupakan teknologi komunikasi wireless dimana setiap pengguna dapat menggunakan frekuensi yang sama dalam waktu bersamaan. CDMA menerapkan teknologi akses jamak berbasis *spread spectrum*. *Spread spectrum* adalah teknik memancarkan sinyal pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pita frekuensi yang dibutuhkan (*bandwidth* sinyal informasi yang ingin dikirimkan) pada transmisi standard. Pengiriman data menggunakan sandi unik, yakni urutan kode *pseudo-noise* (PN) yang memiliki *chip rate* yang jauh lebih besar dari *data rate*, serta saling orthogonal untuk membedakan antara pengguna satu dengan pengguna yang lain.

Pengertian lain dari *spread spectrum* adalah suatu teknik yang memungkinkan beberapa *user* menggunakan bandwidth yang sama pada waktu yang sama tanpa terjadi interferensi satu sama lain. Sinyal *spread spectrum* digunakan untuk meminimalkan efek interferensi *jamming*, interferensi dari *user* lain pada kanal dan interferensi karena multipath propagation. Selain itu, penggunaan *spread spectrum* juga memungkinkan *user* memberi pesan pribadi tanpa didengar *user* lain. Pesan hanya dapat didemodulasi oleh *receiver* yang dimaksud, yang mengetahui pola pseudo-random atau kode yang digunakan *transmitter*, sedangkan *receiver* lain yang tidak mengetahui kode ini tidak dapat menerima pesan tersebut.



Gambar 2.4 CDMA [4]

### 2.1.3 Teknologi Transmisi

Teknologi transmisi yang masih dominan digunakan pada jaringan 3G adalah teknologi SDH. *Synchronous digital hierarchy* (SDH) merupakan hirarki multipleksing berdasarkan sistem transmisi sinkron dimana satu *frame* terbagi ke dalam slot-slot waktu yang disebut *paths* atau *channels*. Sistem SDH dapat diintegrasikan dengan peralatan yang berbeda sehingga memampukannya untuk digunakan dalam transmisi optik berkapasitas besar, pengaturan lalu lintas komunikasi serta restorasi jaringan. Fitur-fitur yang ditawarkan SDH antara lain:

- *Self Healing Ring* (SHR), yaitu pengarahannya jalur lain apabila jalur transmisi ada yang mengalami gangguan.
- Fleksibilitas tinggi dalam hal konfigurasi kanal pada simpul jaringan dan meningkatkan kemampuan manajemen jaringan untuk informasi dan elemen-elemen jaringan.
- *Service on demand* yaitu provisi yang cepat *end-to-end customer services on demand*.
- Akses yang fleksibel dari berbagai bandwidth menuju tempat pelanggan.

Hirarki pemultipleksian SDH terdiri dari berbagai level *synchronous transfer module* (STM) yang menandakan standar *bit rate*. Level hirarki untuk SDH dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Level Hirarki SDH

Level	Rate
STM-1	155,520 Mbps (155 Mbps)
STM-4	622,080 Mbps (620 Mbps)
STM-16	2488,320 Mbps (2,5 Gbps)
STM-64	9953,280 Mbps (10 Gbps)

STM-1 merupakan modul transport level satu dimana sebuah *frame* pada STM-1 memiliki 9 baris dan 270 kolom untuk memberikan alamat tujuan dan isi dari informasi. Setiap baris dan kolom merupakan 1 byte, sehingga kapasitas dari *frame* STM-1 merupakan  $9 \times 270 \times \text{sampling rate } 8000 \text{ Hz} \times 8 \text{ bit/cycle} = 155,52 \text{ Mbps}$ .

### 2.1.4 Teknologi Switching

Teknologi *circuit switching* masih dominan digunakan untuk layanan *mobile telephony* pada jaringan 3G. Teknologi ini menggunakan saklar digital untuk menyediakan jalur sinyal yang jelas di antara sepasang perangkat yang terpasang. Jalur tersebut berupa rangkaian jalur yang dihubungkan satu sama lain di antara simpul jaringan. Komunikasi melalui *circuit switching* meliputi tiga tahap, yaitu:

1. **Pembangunan Circuit**

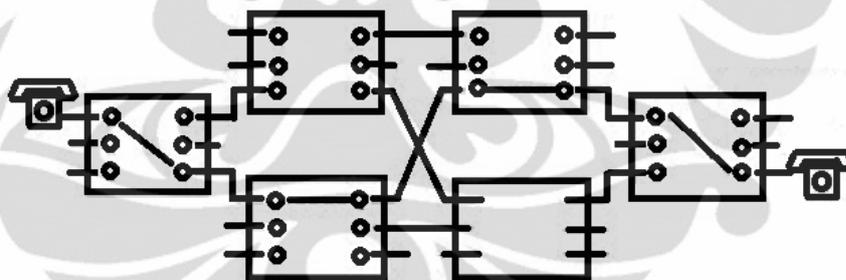
Sebelum data ditransmisikan, harus dibuat terlebih dahulu suatu circuit dari ujung ke ujung.

2. **Transfer Data**

Data yang ditransfer dapat berupa analog maupun digital, tergantung pada sifat jaringan.

3. **Disconnect Circuit**

Setelah beberapa periode transfer data, koneksi dihentikan, biasanya dilakukan oleh salah satu station.



Gambar 2.5 Circuit Switching

## 2.2 Kapasitas

Untuk menghitung jumlah *user* dalam satu cell, dapat digunakan persamaan berikut<sup>[8]</sup>:

$$N_{UL} = \frac{\eta_{UL}}{(1+i)} \left( 1 + \frac{W/R}{E_b/N_o} \frac{1}{v} \right) \quad (2.1)$$

di mana:

$N_{UL}$  = jumlah pengguna per cell

$\eta_{UL}$  = uplink load factor

$W =$  WCDMA chip rate (cps) = 3,84 Mcps

$R =$  bit rate pengguna (bps)

$E_b/N_o =$  energi sinyal per bit/kerapatan spektral noise

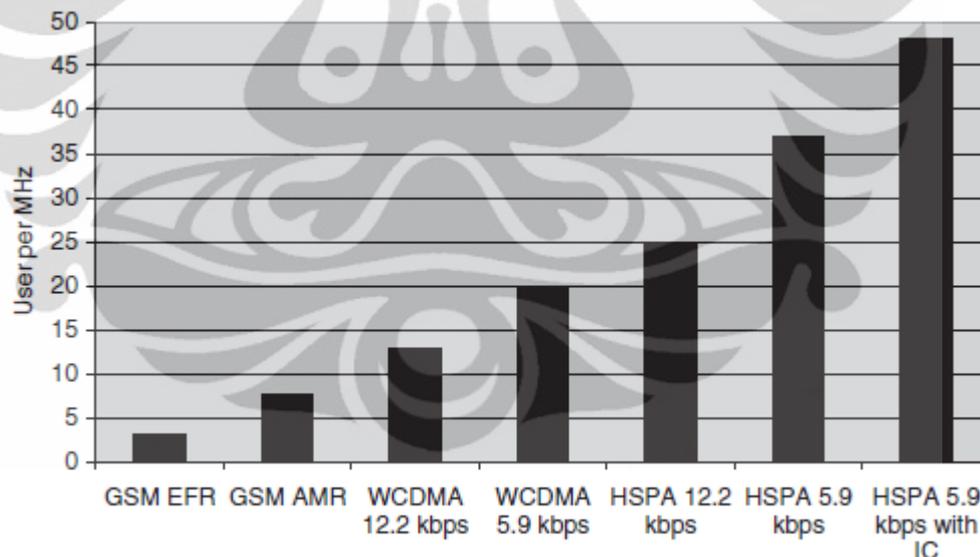
$i =$  interferensi *co-channel* dari cell lain

$v =$  faktor aktivitas pengguna

Perhitungan dikhususkan untuk menghitung total pelanggan yang menggunakan layanan AMR *Speech* dengan bit rate ( $R$ ) sebesar 12,2 kbps. Untuk variable  $v$ , nilai yang direkomendasikan untuk layanan *voice* adalah sebesar 0,67. Untuk variable  $i$ , jika digunakan makro cell dengan 3 sektor maka nilainya adalah 65%.  $E_b/N_o$  diasumsikan bernilai 3 dB (1,995) dan *load factor* diasumsikan 50%. Maka total pelanggan dalam 1 cell adalah:

$$N_{UL} = \frac{0,5}{(1 + 0,65)} \left( 1 + \frac{3,84 \times 10^6 / 12,2 \times 10^3}{1,995} \frac{1}{0,67} \right)$$

$$N_{UL} = 71,66 \approx 72 \text{ user}$$



**Gambar 2.6 Voice Spectral Efficiency [9]**

Gambar 2.6 merupakan grafik *voice spectral efficiency*. Berdasarkan Gambar 2.6, untuk jaringan 3G, total *concurrent user* untuk layanan AMR 12,2 kbps, adalah 12,8 *user* per MHz. Dengan bandwidth 5 MHz, maka jumlah *concurrent user*-nya 64 *user*, tidak jauh berbeda dengan nilai yang didapat dari perhitungan. Penjelasan mengenai perbedaan ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab 4.3.

Hasil perhitungan ini dan variable-variabel yang ada, yang terkait dengan berapa banyak *user* yang dapat ditampung untuk suatu layanan, nantinya akan menentukan kapasitas sebuah *Node B* (RBS 3G) secara fisik. Berbeda dengan teknologi GSM yang menggunakan konsep kanal atau *time slot*, dimana satu kanal terdiri dari delapan *time slot* dan masing-masing *time slot* hanya boleh diduduki satu orang *user* untuk jenis service apa pun, dalam WCDMA, digunakan konsep lain yang dikenal dengan istilah CE (*Channel Element*). CE merupakan *resource* yang ada pada setiap RBS. CE dapat menentukan banyaknya *user* yang dapat dilayani oleh jaringan 3G. Penggunaan alokasi CE menurut tipe *call setup* dapat dilihat pada Tabel 2.2. Secara umum, CE dapat diartikan sebagai kapasitas yang diperlukan untuk *baseband processing* dan *hardware* untuk membentuk satu sambungan layanan voice AMR 12,2 kbps<sub>[10]</sub>.

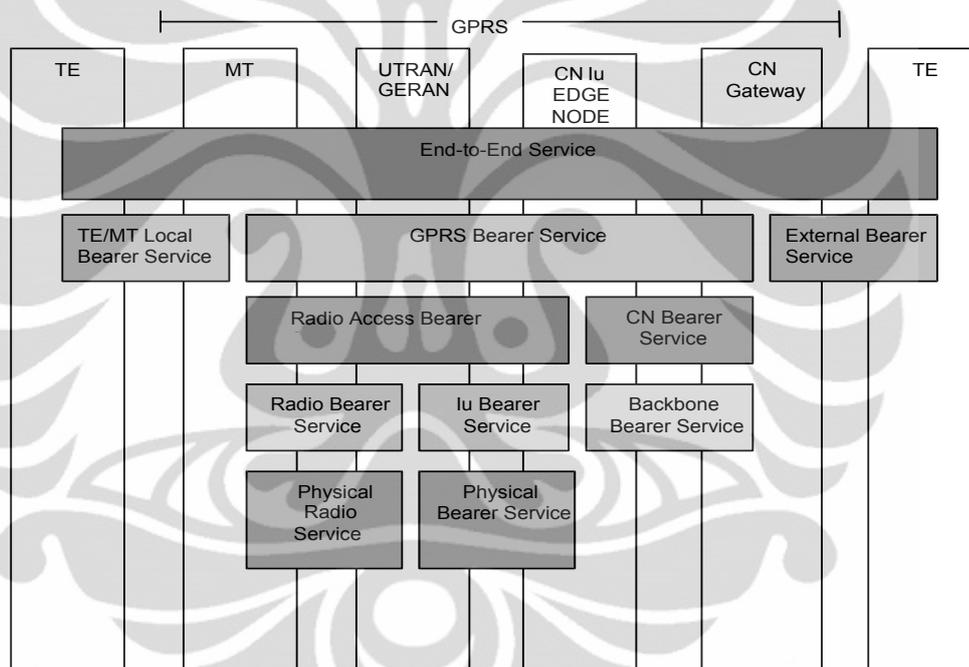
Pada sebuah BTS tipe *ultrasite* terdapat kapasitas 6 WSPC, dimana 1 WSPC memiliki 64 CE<sub>[11]</sub>. Maka RBS jenis ini memiliki total 384 CE (menunjukkan jenis CE yang digunakan untuk modul dengan throughput 384 atau kecepatan bit 384 kbps). Namun 384 CE tersebut tidak dapat digunakan untuk komunikasi seluruhnya. 16 CE digunakan untuk *signaling* (CCHS) dan untuk *downlink* pada HSDPA dibutuhkan sebanyak 32 CE, sehingga sisa CE yang bisa digunakan oleh *user* sebanyak 336 CE.

**Tabel 2.2 Konsumsi Channel Element [11]**

User Data	CE UL / min SF	CE DL / min SF
AMR (Voice)	1/SF 64	1/SF 128
WB-AMR	1/SF 64	1/SF 128
PS 16 Kbps	1/SF 64	1/SF 128
PS 32 Kbps	2/SF 32	2/SF 64
PS 64 Kbps	4/SF 16	4/SF 32
PS 128 Kbps	4/SF 8	4/SF 16
PS 256 Kbps	8/SF 4	8/SF 8
PS 384 Kbps	16/SF 4	16/SF 8
CS 64 Kbps	4/SF 16	4/SF 32
CS 57,6 Kbps	4/SF 16	4/SF 32
CS 14,4 Kbps	1/SF 64	1/SF 128

### 2.3 Fitur QoS Jaringan

Agar jaringan 3G mampu memberikan pelayanan kepada semua pengguna dengan baik, terkait dengan kontrol sinyal dan transportasi dari data aplikasi, maka diperlukan pembawa layanan (*bearer service*) yang menghubungkan setiap terminal yang terdapat dalam suatu jaringan. Terdapat beberapa tipe pembawa dan setiap pembawa mempunyai tanggung jawab, karakteristik, dan fungsi yang spesifik untuk memberikan pelayanan dari sumber ke tujuan dari suatu elemen ke elemen lainnya, yang nantinya menghubungkan semua elemen-elemen terminal yang terdapat dalam jaringan. Fitur ini merupakan sebuah kerangka untuk mengatur pekerjaan yang berkaitan dengan QoS jaringan.



Gambar 2.7 Fitur QoS 3G [12]

Untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya jaringan, terutama dalam kondisi beban sistem tinggi, dibutuhkan suatu pengaturan prioritas untuk layanan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan masing-masing layanan. Layanan dalam jaringan 3G terbagi dalam empat kelas QoS dengan karakteristik trafik yang berbeda untuk menentukan layanan mana yang lebih diprioritaskan. Keempat kelas layanan tersebut adalah<sup>[12]</sup>:

- *Conversational class*

Karakteristik layanan kelas ini adalah mempertahankan hubungan antara pihak-pihak yang berinteraksi, sehingga aliran data dapat disampaikan ke masing-masing pihak yang berkepentingan dalam komunikasi yang terjadi. Kelas ini memiliki toleransi delay yang kecil dikarenakan kelas ini sangat sensitif terhadap waktu. Layanan yang termasuk kelas ini antara lain *video conference* dan *voice*.

- *Streaming class*

Kelas ini menyediakan berbagai aplikasi untuk men-*download* berbagai macam multimedia yang berisi audio dan video yang tersedia secara online. Persyaratan delay untuk kelas ini tidak serendah delay pada *conversational class*. Untuk mengurangi delay pengiriman data, kelas ini dapat digunakan buffer yang dapat menampung informasi-informasi yang sering diunduh oleh banyak pengguna. Layanan yang termasuk dalam kelas ini adalah *streaming video*.

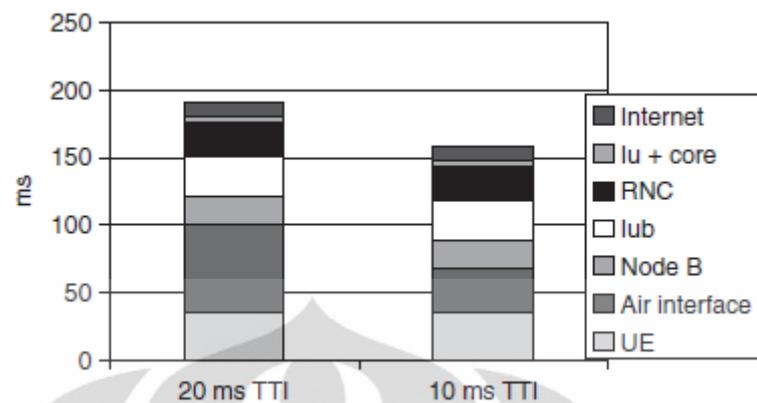
- *Interactive class*

Kelas ini menawarkan layanan berupa *remote access applications* dimana pengguna dapat mengirimkan permintaan kepada server dan menunggu jawabannya dalam beberapa waktu tertentu. Contoh layanan dari kelas ini adalah *web browsing* dan akses database.

- *Background class*

Pada kelas ini tidak diharuskan data tiba dalam waktu yang singkat, pengguna masih dapat mentoleransi sampai dengan beberapa waktu tertentu. Contoh dari aplikasi layanan pada kelas ini adalah email, *file transfer*.

Salah satu parameter utama dalam pembagian kelas layanan tersebut adalah delay. Kelas yang membutuhkan delay paling kecil dari pembagian kelas di atas adalah *conversational class*. Salah satu layanan yang termasuk dalam kelas ini adalah layanan *voice*, dengan persyaratan delay yang harus dipenuhi adalah dibawah 200 ms. Teknologi WCDMA dapat memenuhi persyaratan ini dengan memberikan delay untuk layanan *voice* yang berkisar antara 150-200 ms<sup>[9]</sup>.



Gambar 2.8 WCDMA round trip time budget [9]

### 2.3.1 QoS pada Jaringan IP

Terdapat tiga jenis manajemen QoS yang terdapat dalam jaringan IP, yakni: *best-effort*, *Integrated Services (IntServ)*, dan *Differentiated Services (DiffServ)*. Tipe layanan yang dominan pada Internet saat ini adalah layanan *best-effort*, yang artinya bandwidth akan dibagi secara sama (*equal*) kepada semua aliran trafik yang ada, dengan kata lain, tidak ada garansi apakah paket benar-benar sampai ke tujuannya atau tidak. Mengingat semakin bervariasinya aplikasi-aplikasi baru, baik *real time* maupun *non-real time* pada jaringan IP, sehingga membuat trafik data dalam jaringan IP menjadi semakin sulit diprediksi, maka skema QoS *best-effort* sangat tidak disarankan.

Pada jaringan 3G, secara khusus untuk bagian jaringan yang menangani layanan berbasis paket, perbaikan QoS dapat dilakukan dengan menerapkan kedua alternatif lainnya, yakni IntServ dan DiffServ. IntServ bertujuan menyediakan sumber daya seperti bandwidth untuk trafik sesuai dengan pesanan untuk setiap aliran data sehingga kualitas layanan dapat terjamin bila diperlukan. Sementara DiffServ bertujuan membagi trafik atas kelas-kelas yang kemudian diberi perlakuan yang berbeda. Berikut ini merupakan penjelasannya lebih lanjut.

#### 2.3.1.1 Integrated Service

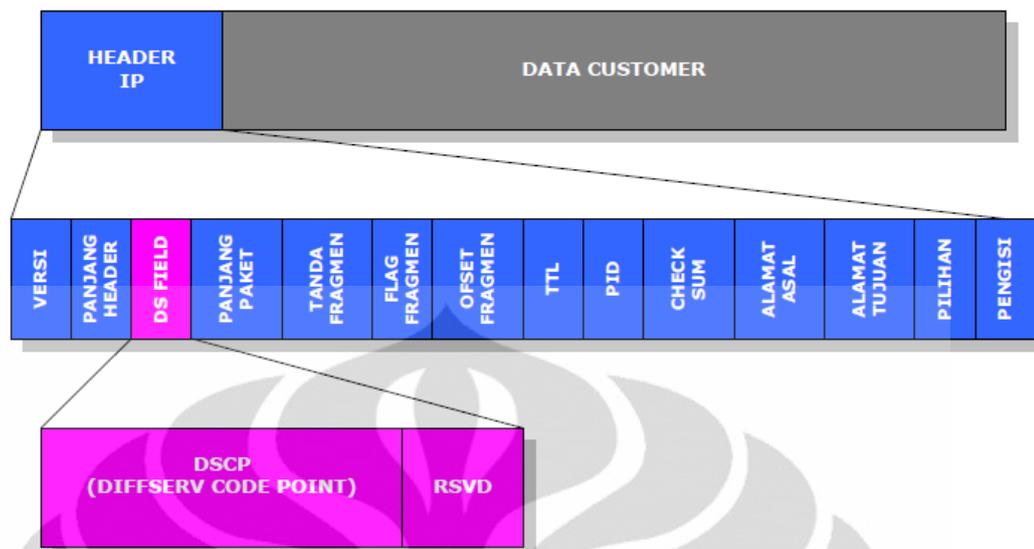
*Integrated Service Model (IntServ)* merupakan model QoS yang memenuhi berbagai macam permintaan QoS dari berbagai perangkat dan berbagai

aplikasi dalam sebuah jaringan dengan melakukan alokasi bandwidth end-to-end sebelum informasi dikirim dengan cara reservasi sumber daya. Dalam model IntServ, para pengguna atau aplikasi dalam sebuah jaringan akan melakukan pemesanan terlebih dahulu mengenai karakteristik trafiknya (profile trafik) dan QoS jenis apa yang mereka inginkan sebelum mereka mengirimkan trafik data. Hal ini akan menentukan fasilitas apa yang akan mereka dapatkan seperti berapa bandwidth dan delay yang akan mereka terima dan gunakan. Setelah mendapatkan konfirmasi dari perangkat QoS dalam jaringannya, maka pengguna dan aplikasi tersebut baru diijinkan untuk melakukan transaksi pengiriman dan penerimaan data. Transaksi data akan dilakukan dalam batasan-batasan yang telah diberikan oleh perangkat QoS tersebut.

Sistem pemesanan sumberdaya memerlukan protokol tersendiri. Salah satu protokol yang sering digunakan adalah RSVP. *Resource Reservation Protocol* (RSVP) merupakan protokol signalling khusus untuk keperluan QoS model IntServ yang bertugas mengirimkan profile dan request mereka ke perangkat QoS. RSVP mengalokasikan bandwidth *end-to-end* sebelum paket dikirim. Protokol ini menggunakan info dari routing protocol untuk menentukan jalur terbaik menuju ke suatu lokasi. RSVP bersifat simplex (satu arah) dan *receiver oriented*, di mana aktivasi RSVP dilakukan oleh penerima.

### 2.3.1.2 Differentiated Service

Model QoS *Differentiated Service* (DiffServ) merupakan skema pengelolaan QoS yang memberikan kualitas penyediaan layanan melalui pembagian aliran paket data ke dalam kelas-kelas, dimana tiap kelas memiliki perbedaan prioritas dan alokasi bandwidth. Dalam model DiffServ, paket ditandai sesuai dengan jenis layanan yang mereka butuhkan. Identifikasi kelas dilakukan dengan memasang DiffServ *Code Point* (DSCP), ke dalam paket IP dengan menggantikan field TOS (*type of service*) di header IP dengan DS *field*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.9. Dengan cara ini, klasifikasi paket melekat pada paket, dan bisa diakses tanpa perlu protokol persinyalan tambahan.



Gambar 2.9 DSCP pada DiffServ [13]

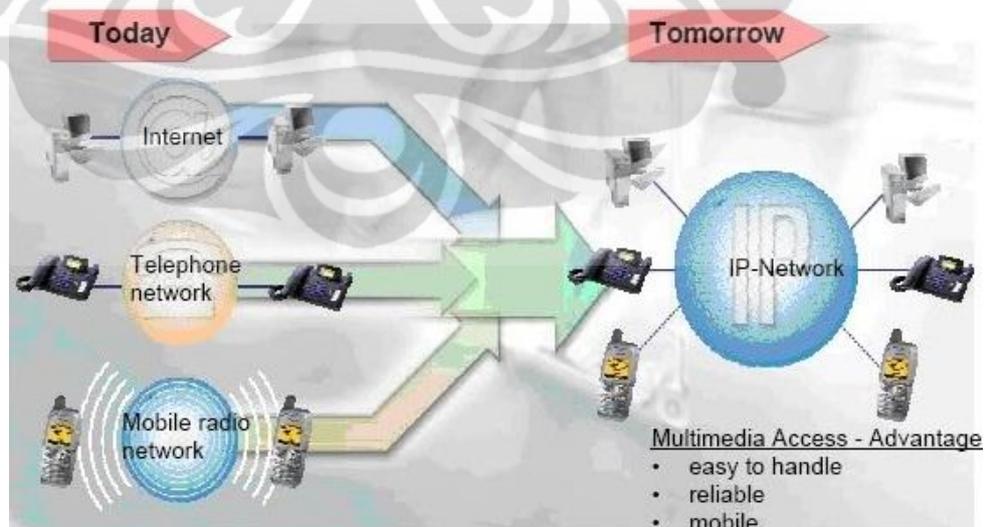
Sebagai tanggapan terhadap kode tersebut, *router* dan *switch* akan menyesuaikan antrian kinerja untuk persyaratan penyediaan layanan. *Router* menyediakan kemampuan yang berbeda untuk menyertakan jumlah antrian, prioritas relatif dari antrian, dan bandwidth yang telah disediakan untuk masing-masing antrian.

## BAB 3

### NEXT GENERATION MOBILE NETWORK

#### 3.1 Next Generation Network

ITU-T mendefinisikan *Next Generation Network* (NGN) sebagai jaringan berbasis paket yang mampu menyediakan berbagai layanan telekomunikasi dan mampu mendukung layanan *multiple broadband*, dengan teknologi transport yang memiliki mekanisme pemeliharaan QoS, dimana fungsi-fungsi yang berkaitan dengan layanan independent terhadap teknologi transportnya<sup>[14]</sup>. ETSI-Typhon *standart* menjelaskan NGN sebagai suatu konsep untuk identifikasi dan penggelaran jaringan yang menerapkan pemisahan fungsional ke dalam beberapa *layer* dan penggunaan *open interface* sehingga memungkinkan operator dan penyedia layanan untuk berevolusi secara bertahap untuk menciptakan, menyebarkan, dan mengelola layanan secara inovatif<sup>[15]</sup>. Konsep jaringan yang ditawarkan berbasis paket dan menyediakan kerangka kerja yang sangat luas meliputi penyatuan berbagai arsitektur dan teknologi yang memungkinkan penyediaan berbagai jenis layanan meliputi suara, data maupun video (*triple play*).



**Gambar 3.1 Konvergensi pada NGN [16]**

NGN memberikan terobosan baru di bidang telekomunikasi dengan ide migrasi dari teknologi jaringan konvensional yang berbasis jaringan *circuit switched* seperti *Public Switch Telephone Network* (PSTN) menuju jaringan berbasis sistem *packet switched* seperti pada jaringan *Internet Protocol* (IP). Dalam perkembangannya, teknologi NGN akan semakin berkembang untuk mencapai konvergensi layanan *voice* dan data antara berbagai jaringan yang ada seperti PSTN, PLMN (*Public Land Mobile Network*), dan jaringan IP.

Konvergensi dalam NGN, dilakukan antara jaringan sirkuit (*circuit networks*) dengan jaringan paket (*packet network*), termasuk di dalamnya jaringan seluler. Konvergensi antara jaringan PSTN, PLMN dan jaringan data (khususnya IP) diharapkan dapat mempertemukan keunggulan dari masing-masing jaringan, yaitu layanan *voice* yang menjadi andalan PSTN, *mobility* dan kekayaan layanan yang dimiliki PLMN, serta *internet-based application* (transfer informasi dan transaksi) yang menjadi kekuatan jaringan IP. Berikut ini merupakan karakteristik dari teknologi NGN<sub>[16]</sub>: mobilitas tinggi, adanya jaminan kualitas, mampu memberikan multi layanan, reliabilitas tinggi, sekuritas tinggi, kemudahan operasi dan pemeliharaan, *co-existence* dengan PSTN, serta memiliki arsitektur yang *open-standard*.

Perubahan menuju NGN pada jaringan seluler dilakukan dengan mengembangkan teknologi jaringan yang berbasis Internet Protocol (IP), yang juga dikenal dengan sebutan *All IP Networks* (AIPN). Terdapat tiga kandidat teknologi *mobile* yang akan diajukan sebagai *Next Generation Mobile Network* (NGMN), yakni: LTE (*Long-Term Evolution*), UMB (*Ultramobile Broadband*), serta WiMAX II (IEEE 802.16m), dan teknologi pertama yang diratifikasi sebagai teknologi radio 'Next Generation' oleh Aliansi NGMN adalah LTE<sub>[17]</sub>.

### 3.1.1 LTE

LTE didefinisikan dalam standar 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) Release 8, merupakan suatu teknologi radio dengan kemampuan pengiriman data mencapai kecepatan 100 Mbps secara teoritis untuk downlink dan 50 Mbps untuk uplink. LTE juga merupakan evolusi teknologi 1xEV-DO sebagai bagian dari roadmap standar 3GPP2. Teknologi ini dirancang untuk

menyediakan efisiensi spektrum yang lebih baik, peningkatan kapasitas radio, latency dan biaya operasional yang rendah bagi operator jaringan serta layanan mobile broadband kualitas tinggi untuk para pengguna. Radio Access Network pada 3GPP LTE atau disebut juga Evolved-UTRAN (E-UTRAN) memiliki beberapa garis besar kebutuhan (*high level requirement*) dari LTE yaitu<sup>[14]</sup>: mengurangi *cost per bit*, meningkatkan pengadaan layanan, fleksibilitas dalam penggunaan pita frekuensi baru maupun yang sudah ada, penyederhanaan arsitektur, *interface* yang terbuka, serta konsumsi daya pada terminal yang wajar.

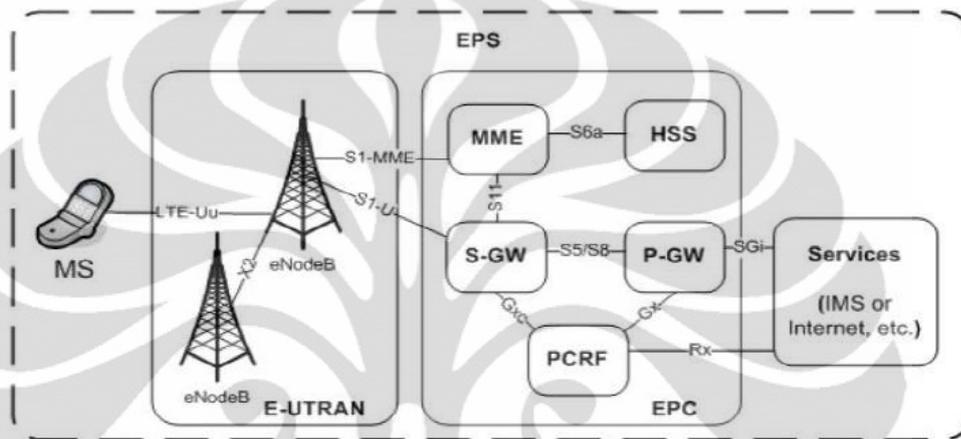
Hal-hal yang harus dipenuhi sebagai spesifikasi dari E-UTRAN, yang dirumuskan pada 3GPP *Technical Report* (TR) 25.913, antara lain<sup>[18]</sup>:

- *Peak data rate* 100 Mbps untuk downlink dengan alokasi spektrum downlink 20 MHz (5bps/Hz) dan 50 Mbps (2.5 bps/Hz) untuk uplink.
- Pengurangan *latency* pada *control-plane* maupun *user-plane* (*latency* < 10 ms RTT)
- Efisiensi spektrum dengan tetap dapat menggunakan lokasi pemancar yang sudah digunakan pada UTRAN.
- Penggunaan spektrum yang fleksibel.
- Kemampuan mobilitas pengguna yang masih mendapatkan layanan dengan performansi tinggi pada kecepatan sampai 350 km/jam.
- *Coverage* dengan radius sampai 5 km dan maksimum cakupan 100 km.
- Tetap mempertahankan 3GPP RAT (*Radio Access Technology*) yang sudah ada dan mendukung interworking dengannya.
- Single arsitektur yang berbasis paket, minimalisasi interface dan penyederhanaan.
- Reduksi kompleksitas.

### 3.1.2 Arsitektur LTE

Terdapat beberapa macam fungsi dalam sebuah jaringan selular. Berdasarkan hal ini, jaringan dapat dibagi ke dalam dua bagian utama, yakni *radio*

*access network* dan *core network*. *Radio access network* dalam LTE adalah E-UTRAN dan *core network*-nya adalah EPC. Dalam E-UTRAN, eNodeB digunakan untuk memfasilitasi hubungan akses radio antara UE dan EPC. *Interface S1* digunakan oleh eNodeB agar dapat terhubung dengan EPC. Tidak seperti sistem 3G, LTE hanya terdiri dari suatu elemen jaringan tunggal dalam jaringan akses radio. Jaringan intinya (EPC) terdiri dari elemen jaringan *logic* yang saling berhubungan dengan antarmuka yang berbeda.



Gambar 3.2 Arsitektur LTE [19]

### 3.1.2.1 Evolved Node B (eNB)

*Evolved Node B* (eNB) merupakan bagian radio akses dari LTE. Setiap eNB terdiri dari sebuah *radio transmitter*, *receiver*, dan *power supply*. eNB berfungsi untuk *Radio Resource Management* (RRM) dan *transceiver*. Pada eNB terdapat fungsi pengontrolan seperti yang terdapat pada *Base Station Controller* (BSC) atau *Radio Network Controller* (RNC). eNB pun mempunyai kapabilitas untuk dapat berkomunikasi satu sama lain melalui *interface X2*, sehingga keberadaannya dapat menggantikan fungsi BSC/RNC.

### 3.1.2.2 EPC (Evolved Packet Core)

Sesuai spesifikasi 3GPP Release 8, jaringan inti yang berkembang dikenal sebagai EPC. Fungsinya adalah untuk menyediakan jaringan inti all-IP untuk LTE. Berbeda dengan *multidomain* jaringan inti UMTS (*packet-switched* dan

*circuit-switched*), EPC menggunakan domain IP tunggal *paket-switched*. Sebuah domain IP tunggal dalam jaringan inti secara signifikan meningkatkan kinerja jaringan untuk layanan *real time* dan *non real-time*. EPC memfasilitasi koneksi IP *end-to-end* dari UE untuk setiap perangkat akhir atau pada jaringan. Menurut spesifikasi 3GPP, sebuah EPC terdiri dari bagian-bagian berikut<sup>[20]</sup>:

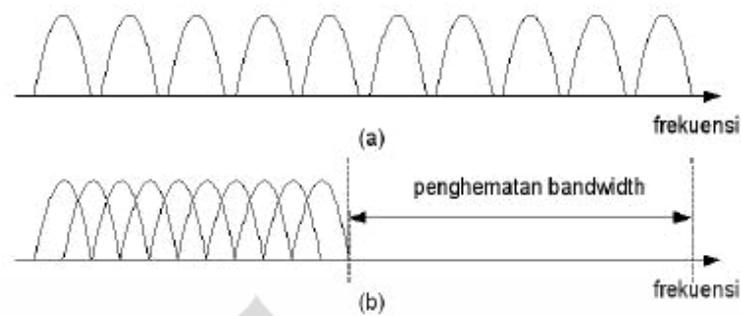
- *Mobility Management Entity* (MME): merupakan elemen kontrol utama dalam EPC, berfungsi untuk pengesahan dan keamanan, pengaturan *mobility*, dan mengatur profil layanan langganan, konektivitas layanan.
- *Serving Gateway* (S-GW): merupakan bagian dari infrastruktur jaringan yang memelihara wilayah kerja operasional secara sentral dengan mengelola *user plane tunnel* dan menjalankan fungsi switching.
- *Packet Data Network* (PDN) *Gateway* (PGW): merupakan *router* antara EPS dan jaringan paket data eksternal.
- *Policy and Charging Rules Function* (PCRF): menjalankan fungsi kontrol pentarifan dan konfigurasi IP *Multimedia Subsystem* (IMS) untuk *user*.
- *Home Subscription Server* (HSS): sebagai tempat penyimpanan data langganan untuk semua data pelanggan tetap.

### 3.1.3 Teknologi Akses

Pada LTE, teknologi akses yang digunakan adalah OFDMA pada downlink dan SC-FDMA pada uplink.

#### 3.1.3.1 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

OFDMA adalah sebuah teknik merupakan teknik akses jamak yang berdasarkan OFDM sebagai teknik modulasinya, yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Dalam OFDM, sub carrier dibuat menjadi ortogonal satu sama lain sehingga *inter-carrier guard band* tidak dibutuhkan. Ortogonal artinya puncak dari satu sub carrier bertepatan dengan null dari sub carrier yang berdekatan.



Gambar 3.3 OFDMA [21]

Untuk lingkungan multi user, OFDM perlu dikombinasikan dengan teknik akses jamak sehingga muncul OFDM-TDMA, OFDM-CDMA (disebut juga MC-CDMA) dan OFDMA. Pada OFDMA, satu *user* akan dimodulasi OFDM pada beberapa *subcarriers* saja. *User* pada OFDMA dibedakan dari frekuensi *subcarriers* yang dipakai seperti pada FDMA, namun keuntungan dibanding FDMA saja adalah *guard band* antar *subcarriers* yang diberikan pada tiap *user* lebih sempit karena boleh saling *overlap* sehingga spektrum frekuensi lebih efisien dan dapat meningkatkan kapasitas.

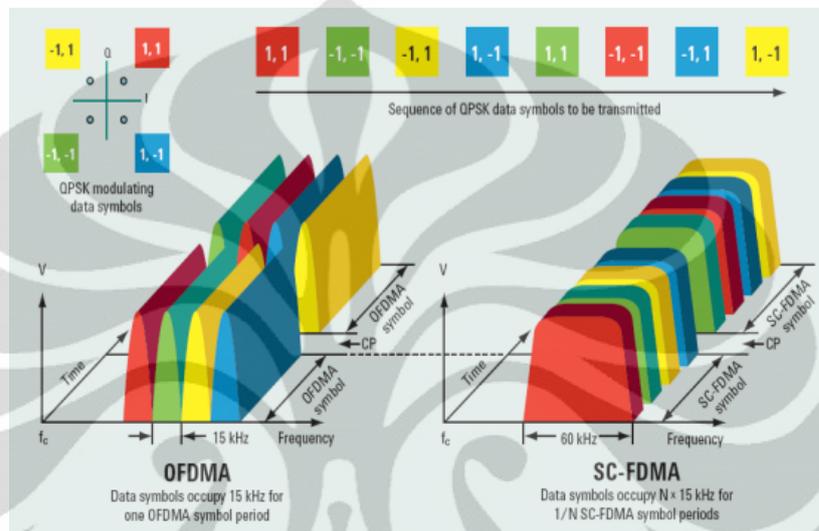
### 3.1.3.2 Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Merupakan suatu teknik *multiple access* baru yang akan digunakan untuk *uplink* pada LTE. SC-FDMA merupakan versi pengguna jamak dari modulasi *Single Carrier dengan Frequency Domain Equalization* (SC/FDE). Teknik ini dapat pula dikatakan sebagai pengembangan dari OFDMA yang telah ada sebelumnya. SC-FDMA mempunyai struktur dan performa yang mirip dengan OFDM, hanya saja pada teknik ini terdapat penambahan proses DFT (*Discrete Fourier Transform*) pada *transmitter*. Pada SC-FDMA, setiap simbol data disebar di beberapa *subcarrier*, sehingga disebut juga DFT-*spread* OFDM.

### 3.1.3.3 Perbedaan antara OFDMA dan SC-FDMA

Perbedaan antara OFDMA dan SC-FDMA dapat dilihat pada Gambar 3.4. Digunakan modulasi QPSK, setiap data simbol diwakili 2 bit (00, 01, 10, 11).

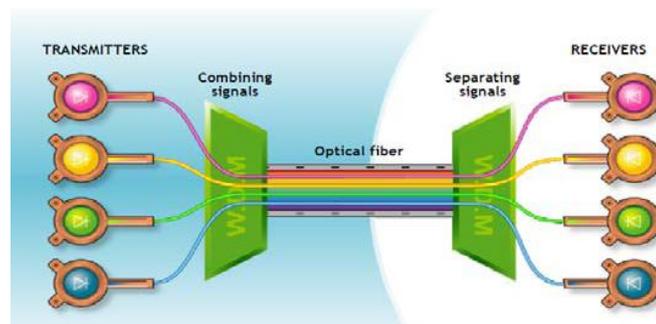
Pada OFDMA terlihat bahwa aliran data dibagi ke dalam empat buah *subcarrier* dengan menempati *bandwidth* selebar 15 KHz untuk satu periode simbol, kemudian ditransmisikan secara paralel dalam satu waktu. Sedangkan pada SC-FDMA data dikirimkan dalam empat buah *subcarrier* juga, hanya saja ditransmisikan secara sekuensial, dengan menempati *bandwidth* 60 KHz untuk N periode simbol SC-FDMA, dimana N di sini adalah 4.



Gambar 3.4 Perbedaan OFDMA dengan SC-FDMA [22]

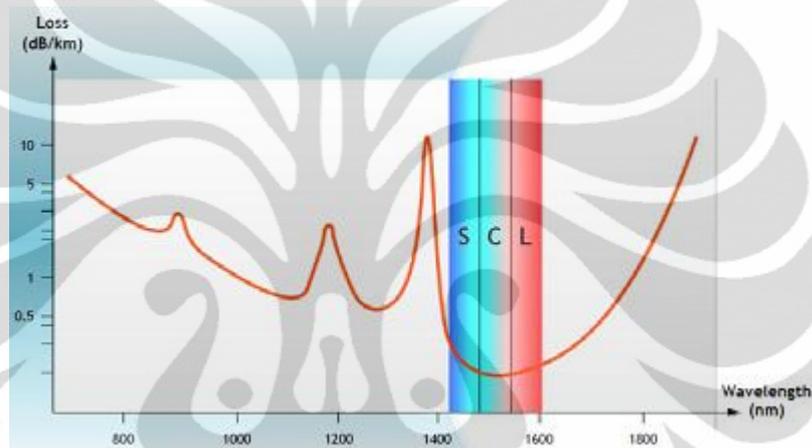
### 3.1.4 Teknologi Transmisi

*Wavelength-division multiplexing* (WDM) merupakan proses *multiplexing* dengan menggabungkan beberapa sinyal optik dengan panjang gelombang yang berbeda ke dalam satu serat optik yang sama. WDM menggunakan *optikal coupler* untuk menggabungkan sinyal-sinyal optik. Pada bagian WDM *demultiplexer* digunakan filter optik untuk memisahkan sinyal-sinyal optik. WDM dapat meningkatkan kapasitas serat mulai dari 10 sampai 100 kali lipat.



Gambar 3.5 WDM [23]

Perkembangan teknologi WDM dapat dilihat dari peningkatan kapasitas perangkat tersebut dalam jumlah panjang gelombang yang dapat dibawanya. Dense WDM (DWDM) merupakan perkembangan WDM, dimana jarak antar panjang gelombang berjarak 200, 100, 50 atau 25 GHz dan dapat mengakomodir 16 hingga 128 panjang gelombang. Pada sistem transmisi DWDM, terdapat 3 range panjang gelombang yang dipakai, yaitu S (*short*): 1460–1530 nm, C (*conventional*): 1530–1565 nm, dan L (*long*): 1565–1625 nm. Organisasi ITU menetapkan bahwa range panjang gelombang DWDM adalah 1529–1564 nm yang merupakan bagian dari C band<sup>[23]</sup>.



**Gambar 3.6 Range panjang gelombang pada DWDM [23]**

### 3.1.5 Teknologi Switching

*Softswitch* adalah perangkat switching berbasis software yang dibentuk dari kumpulan beberapa perangkat, protokol, dan aplikasi yang memungkinkan perangkat-perangkat yang lain untuk mengakses telekomunikasi dan layanan *internet* berbasis jaringan IP. *Softswitch* dapat juga diartikan sebagai suatu sistem komunikasi yang menggunakan elemen jaringan berupa *software* sebagai pusat pengendalian panggilannya. Teknologi ini dipromosikan oleh ISC (*International Softswitch Consortium*) sebagai arsitektur terbuka dan terdistribusi yang memungkinkan jaringan mendukung layanan voice, data dan multimedia dari perangkat pelanggan ke jaringan inti, dan mendukung interworking jaringan dengan aplikasi yang dapat menyediakan kombinasi layanan voice, data dan multimedia tersebut<sup>[24]</sup>.

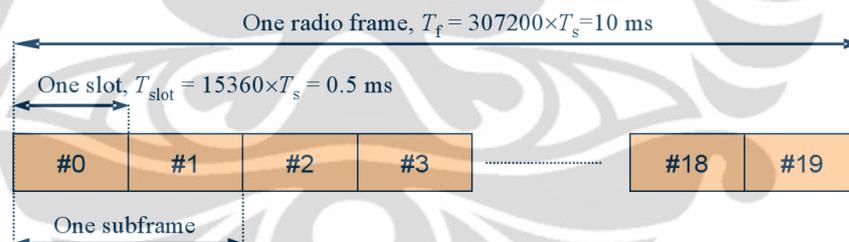
Fungsi utama *softswitch* adalah sebagai switching dan kontrol panggilan, sebagaimana fungsi utama sentral sirkit, dengan kemampuan melayani pelanggan telepon, Internet, dan pelanggan multimedia. Softswitch mengontrol pembentukan dan pemutusan panggilan dari dan ke pelanggan yang dilayani dan sekaligus mengatur hubungan pelanggan tersebut dengan internet secara simultan.

## 3.2 Kapasitas

Perhitungan kapasitas pada *Next Generation Mobile Network* didasarkan pada teknologi akses yang digunakan yakni OFDMA. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai kapasitasnya, akan dibahas terlebih dahulu mengenai struktur *frame* dan *resource blok* pada OFDMA.

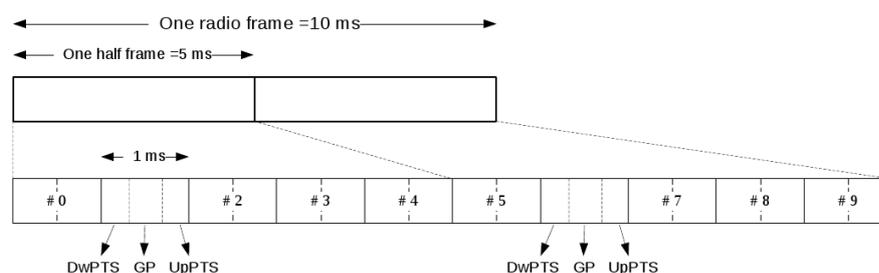
### 3.2.1 Frame Structure

Pada OFDMA, terdapat pemaketan dari beberapa *time slot*. Kumpulan *time slot* ini disebut dengan *frame*. Sebuah *frame* berdurasi 10 ms, dan terdiri dari 10 *subframe*. *Subframe* merupakan kumpulan dari dua *time slot* yang masing-masing berdurasi 0.5 ms. Tiap *time slot* terdiri dari 7 simbol.



Gambar 3.7 Struktur Frame tipe 1 [25]

Struktur frame seperti terlihat pada Gambar 3.7 ditetapkan untuk duplex dengan mode FDD. Untuk duplex dengan mode TDD, strukturnya akan tampak seperti berikut.



Gambar 3.8 Struktur Frame tipe 2 [25]

Terdapat 7 konfigurasi untuk struktur frame tipe 2 ini seperti terlihat pada tabel berikut.

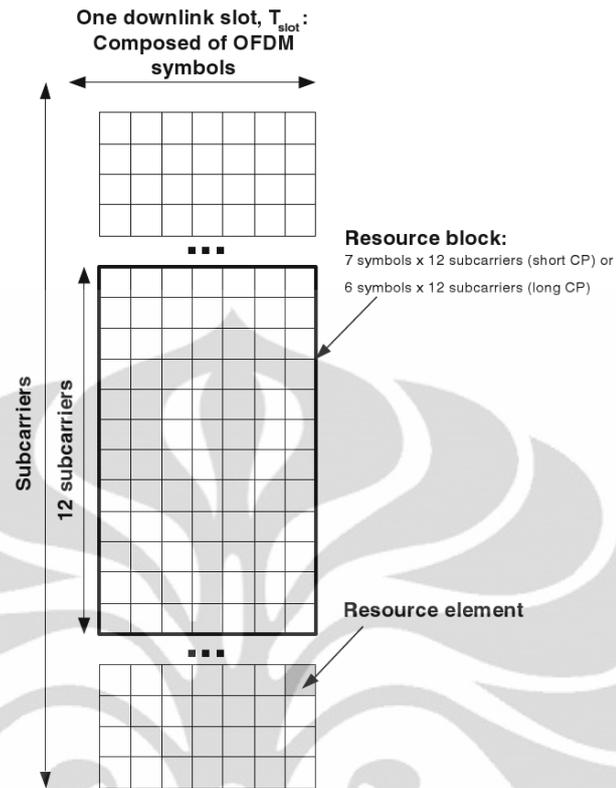
**Tabel 3.1 Konfigurasi Frame tipe 2 [25]**

Configuration	Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	10 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Setiap radio *frame* memiliki panjang 10 ms dan terdiri dari 2 buah *half-frame*. Setiap *half-frame* terdiri dari 5 buah *subframe*. Seperti terlihat pada Gambar 3.8, *subframe* 1 dan terkadang *subframe* 6 tersusun oleh 3 buah segmen spesial yakni: *Downlink Pilot Timeslot* (DwPTS), *Guard Period* (GP), dan *Uplink Pilot Timeslot* (UpPTS). *Subframe* ini merupakan peralihan dari transmisi downlink menuju transmisi uplink. *Subframe* ini pada tabel konfigurasi ditunjukkan dengan symbol “S”.

### 3.2.2 Resource Block

Gambar 3.9 menunjukkan deskripsi yang lebih detil dari sebuah *time slot*. Unit terkecil dari layer fisik dan ditempati oleh satu symbol OFDMA di dalam domain waktu dan satu subcarrier dalam domain frekuensi disebut *resource element*. Kumpulan dari *resource element* membentuk sebuah *resource block* (RB) yang merupakan unit terkecil yang dapat ditransmisikan.



Gambar 3.9 Resource Element dan Resource Block [25]

Sebuah *resource block* terdiri dari 7 simbol dan 12 *subcarrier*. Setiap *subcarrier* memiliki *bit rate* 15 kbps. Tabel berikut menunjukkan jumlah *resource block* terkait dengan lebar *channel bandwidth*.

Tabel 3.2 Konfigurasi Bandwidth Transmisi [25]

Channel Bandwidth (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Transmission bandwidth configuration (MHz)	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18
Transmission bandwidth configuration (RB)	6	15	25	50	75	100

### 3.2.3 Perhitungan Kapasitas

Misalkan disediakan bandwidth sebesar 5 MHz, dan jenis modulasi yang digunakan QPSK. Diasumsikan nilai *coding rate* sebesar 50%. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa terdapat 14 simbol OFDM dalam setiap 1 ms *subframe*. Modulasi QPSK menunjukkan terdapat 2 bit/symbol. Jadi total bit

dalam 1 ms *subframe* adalah sebesar 28 bits atau 28 kbps per *subcarrier*. Dalam suatu RB terdapat 12 *subcarrier* sehingga total *bit rate* dalam 1 RB adalah:

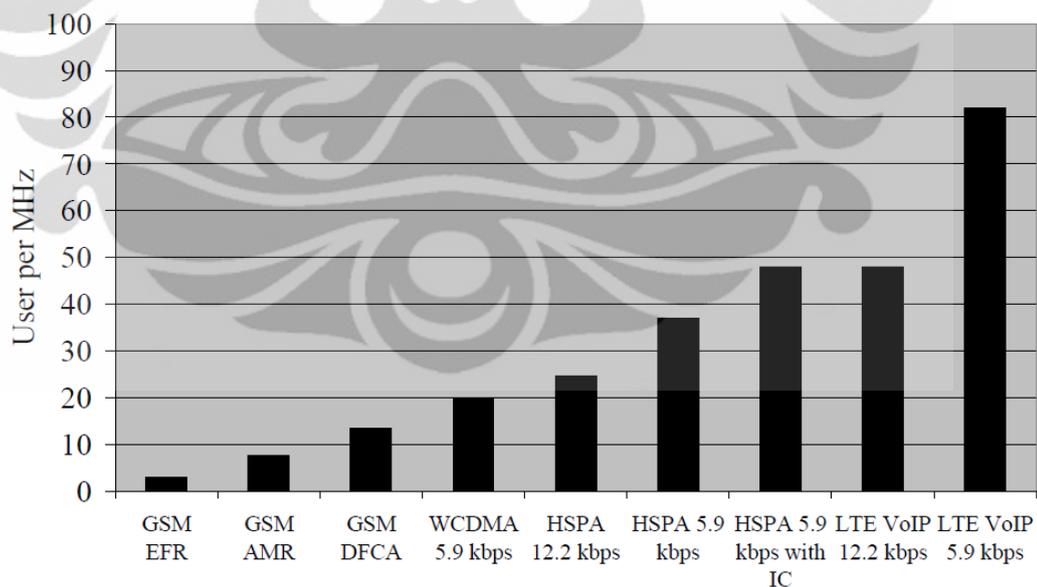
$$12 \text{ subcarrier} \times 28 \text{ kbps} = 336 \text{ kbps}$$

Berdasarkan Tabel 3.2, untuk bandwidth 5 MHz terdapat 25 RB, sehingga total *bit rate*-nya adalah:

$$336 \text{ kbps} \times 25 \text{ RB} = 8,4 \text{ Mbps}$$

Sesuai dengan kondisi di lapangan untuk modulasi QPSK, diasumsikan nilai *coding rate* 50%, maka didapat nilai *throughput* maksimumnya adalah sebesar 4,2 Mbps. Misalkan ingin diketahui total *concurrent user* untuk layanan AMR Speech dengan *data rate* 12,2 kbps. Pada prakteknya, *data rate* 12,2 kbps ini akan ditambah dengan bit *parity check* untuk *error control coding* sehingga ukurannya menjadi 16 kbps. Maka, total pengguna layanan ini dalam waktu yang bersamaan adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Total concurrent user (AMR Speech 12,2 kbps)} &= \frac{4,2 \text{ Mbps}}{16 \text{ kbps}} \\ &= 263 \text{ user} \end{aligned}$$



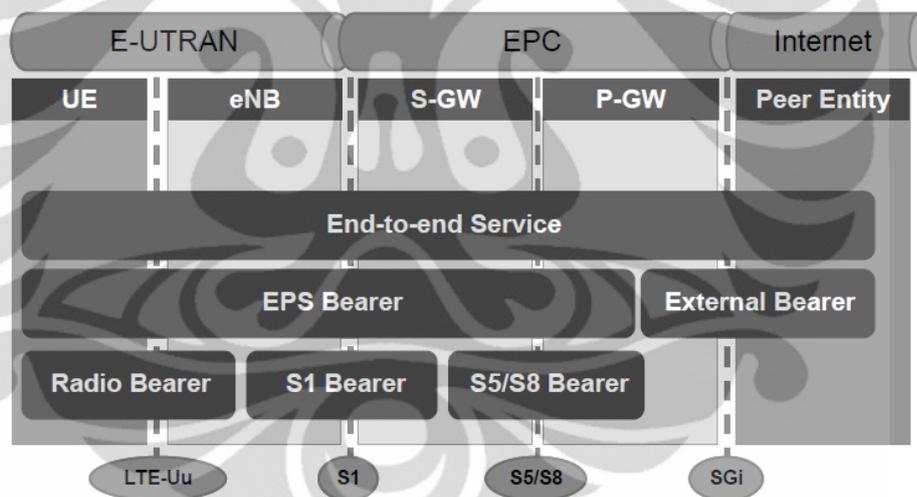
**Gambar 3.10 Voice Spectral Efficiency [20]**

Nilai yang didapat dari perhitungan sedikit berbeda dengan nilai dari grafik *voice spectral efficiency* pada Gambar 3.10. Grafik efisiensi spektral untuk layanan *voice* menyatakan bahwa total *concurrent user* untuk layanan AMR 12,2

kbps (dalam bentuk VoIP), dengan bandwidth 5 MHz, berjumlah sekitar 240 *user*. Penjelasan lebih lanjut akan dibahas pada subbab 4.3.

### 3.3 Fitur QoS Jaringan

Kebutuhan akan manajemen QoS yang baik merupakan isu yang sangat penting pada teknologi NGMN karena NGMN dituntut untuk menyampaikan multilayanan yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Karena itu, dibuatlah model pembawa layanan *System Architecture Evolution* (SAE) dan konsep QoS pada LTE yang merupakan perbaikan dari jaringan 3G yang ada saat ini. Gambar 3.11 menunjukkan pengembangan model pembawa layanan yang menunjukkan konsep QoS pada NGMN. Setiap perangkat *user* (UE) yang teregistrasi pada sistem akan memiliki paling tidak satu pembawa layanan sehingga konektivitas IP yang kontinu dapat disediakan.



Gambar 3.11 SAE bearer model [20]

Seperti halnya pada jaringan 3G, LTE pun melakukan pembedaan layanan, namun dengan pengembangan parameter yang lebih kompleks. Parameter-parameter QoS yang telah dioptimalkan antara lain:

- QoS *Class Identifier* (QCI): merupakan index yang mengidentifikasi kumpulan nilai yang dikonfigurasi secara lokal terkait dengan tiga atribut QoS yakni: *priority*, *delay* dan *loss rate*. Terdapat 9 kelas yang telah ditetapkan ke dalam 2 kategori pembawa layanan, *Guaranteed Bit Rate* (GBR) dan *Non-Guaranteed Bit-Rate* (Non-GBR). Standar kelas QCI dan

nilai-nilai untuk parameternya untuk tiap kelas dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Parameter QoS untuk beberapa aplikasi NGMN [20]**

QCI	Resource type	Priority	Delay budget	Loss rate	Example application
1	GBR	2	100 ms	1e-2	VoIP
2	GBR	4	150 ms	1e-3	Video call
3	GBR	5	300 ms	1e-6	Streaming
4	GBR	3	50 ms	1e-3	Real time gaming
5	Non-GBR	1	100 ms	1e-6	IMS signalling
6	Non-GBR	7	100 ms	1e-3	Interactive gaming
7	Non-GBR	6	300 ms	1e-6	Application with TCP:
8	Non-GBR	8			browsing, email, file
9	Non-GBR	9			download, etc.

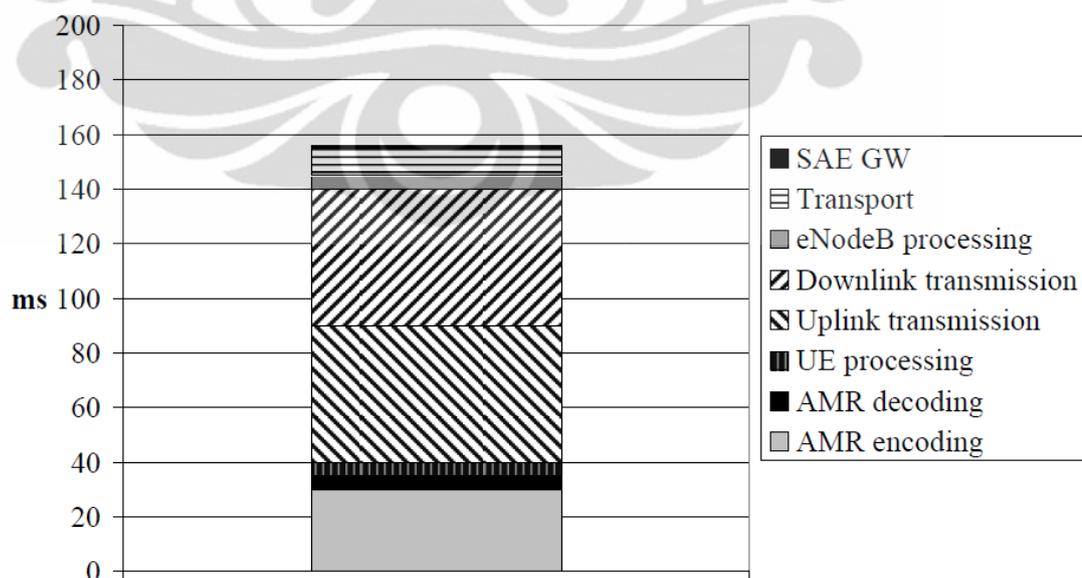
- *Allocation and Retention Priority (ARP)*: mengindikasikan prioritas dari pembawa layanan yang satu jika dibandingkan dengan pembawa layanan lainnya. ARP menyediakan dasar untuk mengontrol set-up dari pembawa layanan, dan juga menentukan pembawa layanan mana yang harus dikeluarkan (*drop*) pada saat terjadi kemacetan.
- *Maximum Bit Rate (MBR)*: mengidentifikasi nilai bit rate maksimum dari pembawa layanan.
- *Guaranteed Bit Rate (GBR)*: mengidentifikasi bit rate yang dapat dijamin untuk pembawa layanan.
- *Aggregate Maximum Bit Rate (AMBR)*: terdapat banyak aliran IP yang dapat dipetakan pada pembawa layanan yang sama. Parameter ini memberikan petunjuk mengenai total bit rate maksimum yang dapat dimiliki oleh UE untuk semua pembawa layanan dalam koneksi PDN yang sama.

Berikut ini merupakan atribut-atribut QoS yang membagi layanan ke dalam beberapa kelas QCI:

- *Resource Type*: mengindikasikan kelas mana yang akan memiliki jaminan bit rate (GBR).

- *Priority*: digunakan untuk menentukan prioritas untuk *packet scheduling* dari *radio interface*.
- *Delay Budget*: membantu perencanaan pengiriman paket untuk menjaga *scheduling rate* untuk menyesuaikan dengan nilai delay yang ditetapkan untuk pembawa layanan.
- *Loss Rate*: menyesuaikan pengaturan *radio link control* untuk mendapatkan setting yang tepat.

Dari Tabel 3.3, dapat dilihat bahwa layanan yang mendapat prioritas paling tinggi adalah layanan *voice*. Salah satu faktor penentuan prioritas ini pun masih terkait dengan delay yang disyaratkan, seperti halnya pada jaringan 3G. Gambar 3.12 menunjukkan *delay budget* dalam penyediaan layanan VoIP oleh LTE. Nilai-nilai tersebut merupakan nilai yang diasumsikan sehingga mungkin akan berbeda dengan delay yang terjadi pada kondisi operasional. Dari Gambar 3.12, terlihat bahwa LTE paling tidak mampu menjalankan layanan *voice* dengan delay dibawah 160 ms. Untuk pengelolaan sumber daya jaringan, LTE memiliki dua alternative skema pengelolaan QoS sama dengan 3G, yakni penggunaan metoda IntServ dan DiffServ. Perbandingan antara kedua skema ini akan dibahas lebih lanjut pada Bab 4.



Gambar 3.12 End-to-end delay budget pada layanan VoIP LTE [20]

## BAB 4

### PERBANDINGAN JARINGAN WCDMA 3G DENGAN NGMN

#### 4.1 Spesifikasi Jaringan 3G dan NGMN

Berdasarkan penjelasan dalam Bab II dan Bab III mengenai teknologi, kapasitas, dan kualitas dari jaringan 3G dan NGMN (LTE), maka hal-hal yang akan dibandingkan antara keduanya dapat dirumuskan dalam tabel berikut.

Tabel 4.1 Spesifikasi Jaringan 3G dan NGMN

	3G	NGMN (LTE)
<b>Teknologi</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Arsitektur WCDMA 3G</li><li>• CDMA</li><li>• SDH</li><li>• <i>Circuit Switch</i></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Arsitektur EPS</li><li>• OFDMA</li><li>• DWDM</li><li>• <i>Softswitch</i></li></ul>
<b>Kapasitas</b> (AMR Speech,5MHz)	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Channel Element</i></li></ul> 65 user	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Resource Block</i></li></ul> 263 user
<b>Kualitas</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pembagian layanan ke dalam 4 kelas</li><li>• Delay sebagai salah satu faktor penentu prioritas</li><li>• DiffServ, IntServ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pembagian layanan ke dalam 9 kelas</li><li>• Delay sebagai salah satu faktor penentu prioritas</li><li>• DiffServ, IntServ</li></ul>

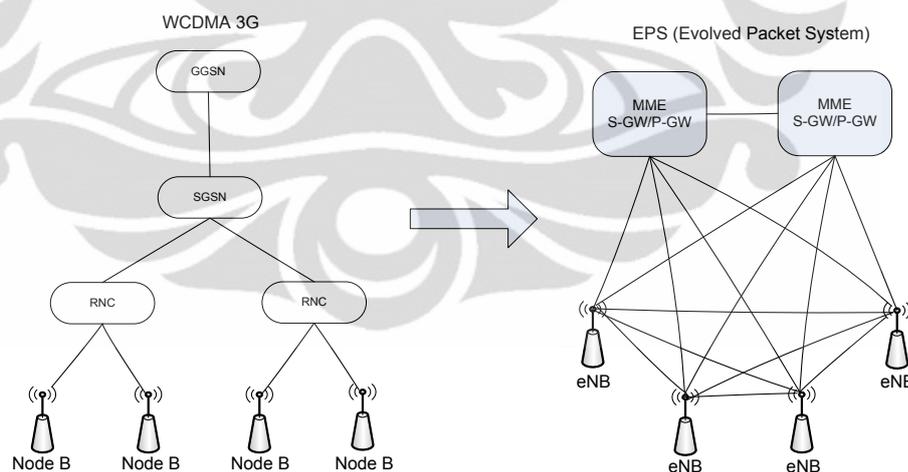
#### 4.2 Perbandingan Teknologi

Berikut ini merupakan perbandingan teknologi jaringan mobile saat ini dengan teknologi mobile pada era NGN. Teknologi yang akan dibandingkan meliputi arsitektur, teknologi akses, teknologi transmisi, dan switching.

#### 4.2.1 Perbandingan Arsitektur

Arsitektur jaringan WCDMA 3G, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 merupakan arsitektur jaringan secara keseluruhan, dengan menampilkan secara detil bagian dari *core network* yang menangani layanan berbasis *circuit switch* dan *packet switch*. Pada Gambar 2.2, terlihat percabangan di antara hubungan UTRAN dengan *core network*. *Interface* Iuos menghubungkan UTRAN dengan MSC sebagai sentral switching yang menangani layanan berbasis sirkuit, dan terdapat pula *interface* Iups yang menghubungkan UTRAN dengan SGSN sebagai sentral switching untuk layanan berbasis paket. Arsitektur jaringan 3G yang dibandingkan dengan EPS pada Gambar 4.1 merupakan bagian jaringan yang menangani layanan berbasis paket saja, mengingat pada era NGMN seluruh layanan akan berbasis IP.

Penggambaran arsitektur LTE seperti pada Gambar 3.2 sebenarnya dapat lebih disederhanakan lagi. Jalur utama elemen jaringan yang dilalui oleh *control-plane* dan *user-plane* tampak seperti penggambaran EPS pada Gambar 4.1. Keberadaan PCRF dapat dilihat sebagai jalur *bypass* terhadap *control-plane* untuk kembali diteruskan ke P-GW.



**Gambar 4.1 Perbandingan Arsitektur Jaringan WCDMA 3G dan LTE**

Dari Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa elemen jaringan E-UTRAN lebih sedikit dibandingkan dengan UTRAN. Hal ini dikarenakan *Evolved Node B* (eNB) mengerjakan juga beberapa fungsi dari RNC, dan fungsi lainnya ditangani oleh

MME. Selain itu, terlihat juga bahwa E-UTRAN sangat fleksibel dibandingkan dengan UTRAN. Tidak seperti *NodeB* yang hanya dapat berhubungan dengan satu RNC, sebuah eNB dapat berhubungan dengan MME manapun.

Terdapat dua elemen jaringan yang menjalankan fungsi switching pada 3G, yakni MSC untuk layanan berbasis *circuit switch*, dan SGSN untuk layanan berbasis *packet switch* (CS). Pada EPS, fungsi switching dijalankan oleh *Serving Gateway* (S-GW). Arsitektur ini murni untuk layanan berbasis *packet switch* saja. Terdapat dua fungsi tambahan untuk menjalankan fungsi switching antara EPS dengan jaringan CS *existing*, yakni: *Circuit Switched Fall Back* (CSFB) dan *Single Radio Voice Call Continuity* (SR-VCC). CSFB memungkinkan layanan *voice call* tetap dapat ditangani oleh domain CS, dan UE yang bersangkutan akan dialihkan pada domain ini selama panggilan berlangsung. Peran CSFB didukung oleh adanya interface SGs yang mengkoneksikan MME dengan MSC untuk fungsi *control signalling*. SR-VCC berfungsi untuk mengubah panggilan VoIP menjadi panggilan *voice* CS dalam domain CS. Fungsi ini dibutuhkan ketika jaringan yang mampu menangani VoIP lebih kecil cakupannya dibandingkan jaringan CS yang masih beroperasi.

Untuk koneksi dengan jaringan eksternal, pada jaringan 3G, fungsi ini dijalankan oleh GGSN (untuk koneksi dengan jaringan paket data eksternal), dan GMSC (untuk koneksi dengan jaringan CS eksternal). Pada EPS, koneksi ini dijalankan oleh *Packet Data Network Gateway* (P-GW) untuk jaringan PS eksternal. EPS dapat langsung berhubungan dengan jaringan CS eksternal melalui MME. Sebuah MME dapat terkoneksi dengan beberapa MSC/VLR dalam CS *core network*.

Jadi, sesuai dengan penjelasan sebelumnya, terlihat bahwa E-UTRAN pada EPS lebih sederhana dibandingkan dengan UTRAN pada 3G, karena pada E-UTRAN terdapat integrasi beberapa fungsi ke dalam satu elemen jaringan. Untuk koneksi dengan jaringan eksternal, baik PS maupun CS, keduanya mensupport dengan baik, hanya saja dalam EPS dibutuhkan lebih sedikit elemen jaringan dibandingkan dengan jaringan 3G. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa jaringan LTE lebih sederhana dibandingkan dengan jaringan 3G.

Pengurangan jumlah elemen jaringan pada LTE akan berdampak secara langsung pada pengurangan *end-to-end latency*. *Latency* merupakan waktu yang

dibutuhkan paket data untuk dikirimkan dari sumber ke tujuan. Waktu yang dibutuhkan LTE untuk *latency round-trip* jaringan hanya 10ms bahkan bisa lebih singkat (bandingkan dengan 40–50ms untuk HSPA). LTE dapat memberikan layanan-layanan *real-time* yang lebih responsif kepada user, seperti *high-quality* konferensi audio/video dan permainan *multi-player*. Pengurangan elemen jaringan ini juga akan berdampak pada biaya operasional dan perawatan jaringan yang diharapkan dapat menjadi lebih murah.

#### 4.2.2 Perbandingan Teknologi Akses

Berikut ini merupakan perbandingan performa dari CDMA dan OFDMA berdasarkan ketahanan terhadap noise, toleransi terhadap efek *multipath* dalam propagasi, dan *power control*.

##### 4.2.2.1 Noise

Noise merupakan faktor pembatas utama dalam sistem komunikasi. Noise dapat mengganggu proses komunikasi, bahkan dapat memutuskan proses komunikasi tersebut. Berikut ini akan dibandingkan ketahanan dari teknik akses jamak yang digunakan dalam teknologi 3G dan NGMN terhadap noise.

Teknik akses CDMA dengan *spread spectrum* efektif dalam mengurangi efek dari noise yang diterima. Pada CDMA, informasi yang akan dikirimkan disebar ke dalam *wideband spread signal* sebelum ditransmisikan oleh modulasi data menggunakan kode PN. Sinyal yang diterima pada *receiver* akan terdiri dari sinyal informasi awal yang dikirimkan, ditambah dengan gangguan noise dan interferensi yang didapat selama proses transmisi. Sinyal ini akan dikalikan dengan kode penyebaran yang asli. Semua sinyal lain yang berkorelasi dengan kode PN yang digunakan akan disaring (*despread*) untuk menghilangkan interferensi dan sinyal noise, dan akhirnya didapat sinyal yang mirip dengan sinyal awal yang ditransmisikan. Dalam proses ini terlihat bahwa dalam transmisi terjadi penyerapan energi noise oleh CDMA. Hal ini dapat menyebabkan beberapa simbol hilang yang nantinya memungkinkan terjadinya peningkatan *error rate*.

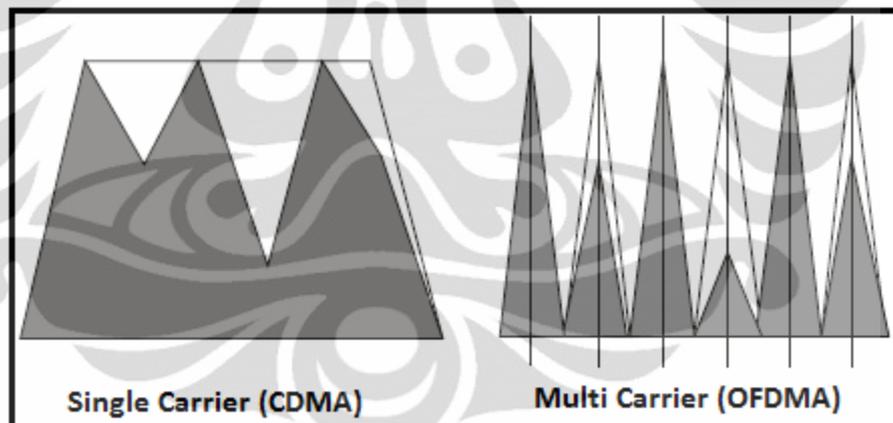
Di sisi lain, pada teknik akses OFDMA, beberapa subcarriers dikelompokkan menjadi unit yang lebih besar, yang disebut *subchannels*, dan *subchannels* ini dikelompokkan lagi menjadi *bursts* yang dialokasikan untuk *user*. Energi dari impuls noise disebarkan dengan *burst* tersebut untuk mengurangi efeknya. Hal ini akan menyebabkan level noise sedikit meningkat, namun hal ini tidak akan menyebabkan hilangnya simbol, sehingga tidak akan terjadi peningkatan *error-rate*.

#### 4.2.2.2 Multipath

Karakteristik propagasi pada kanal transmisi *mobile wireless* memiliki beberapa gangguan yang sangat merusak. Salah satunya adalah *multipath fading*, yang merupakan penghamburan dan pemantulan sinyal transmisi menjadi beberapa sinyal lain yang melalui lintasan yang berbeda-beda, sehingga kuat sinyal dan waktu tiba di penerima pun berbeda-beda. Panjang lintasan dan perlambatan gelombang yang berbeda-beda mengakibatkan sinyal-sinyal informasi sampai pada penerima dalam waktu yang bervariasi. Sebuah impuls yang dikirimkan oleh pemancar bisa saja diterima tidak lagi sebagai impuls, melainkan pulsa dengan lebar penyebaran yang disebut *delay spread*. *Delay spread* ini dapat menimbulkan interferensi antar simbol (ISI), karena setiap simbol akan saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya.

Untuk memperbaiki kerusakan yang disebabkan gangguan lingkungan *multipath*, WCDMA menggunakan RAKE Receiver. RAKE Receiver adalah penerima yang memiliki beberapa penerima dengan korelasi yang terpisah, yang dikenal dengan istilah jari (*finger*). Setiap *path* yang tiba dengan waktu yang berbeda dengan *path* lainnya akan diterima oleh masing-masing jari, kemudian masing-masing komponen *multipath* ini akan disesuaikan satu sama lain (*equalize*). Dalam proses ini, *delay* diantara semua *path* tersebut dihilangkan dengan menggeser sinyal sesuai waktu keterlambatannya terhadap *path* yang pertama tiba. Kemudian semua *path* tersebut akan disuperposisi untuk meningkatkan *gain* sinyal yang dibentuk.

Pada OFDMA, *multipath fading* dapat ditangani dengan kompleksitas yang lebih rendah dan ketahanan yang lebih besar dibandingkan dengan CDMA. Prinsip dasar dari OFDMA adalah membagi sinyal dengan *data rate* yang tinggi menjadi beberapa sinyal dengan *data rate* yang lebih rendah, lalu dikirimkan secara bersamaan dengan beberapa *subcarrier* yang saling orthogonal. Pada kecepatan transmisi data yang tinggi akan dibutuhkan *symbol rate* yang tinggi, sehingga simbol-simbol yang dikirim menjadi pendek dalam domain waktu. Hal ini pada akhirnya dapat menyebabkan *intersymbol interference* (ISI) pada penerima, dimana semakin pendek simbol maka kerusakan yang diderita akan semakin besar. Dengan *data rate* yang menjadi lebih rendah, maka kesensitifan sistem terhadap *delay spread* akan berkurang. Selain itu, pengiriman data melalui beberapa *subcarriers* paralel yang sempit (*narrowband*) pada OFDMA memungkinkan efek *multipath fading* diatasi dengan baik. Efek *multipath fading* oleh setiap *subcarrier* OFDMA yang sempit akan dirasakan sebagai *flat fading*, yang pengkoreksiannya lebih mudah dibandingkan dengan *multipath fading*.



**Gambar 4.2** Efek multipath fading pada single dan multiple carrier

Fakta di atas menunjukkan bahwa secara umum, OFDMA lebih unggul dibandingkan dengan CDMA. Hal ini dikarenakan sistem dasar OFDMA lebih mudah dan murah untuk diterapkan, tidak memerlukan kompleksitas yang tinggi dari penggunaan *RAKE Receiver* yang diperlukan di CDMA.

#### 4.2.2.3 Power Control

Pada teknik akses CDMA, suatu unit penerima (*mobile station*) dengan jarak relatif dekat dengan *base station* (BS) memiliki kemampuan interferensi yang besar terhadap unit yang jauh dari BS. Jika interferensi unit yang dekat dengan BS tidak mampu lagi ditolerir oleh unit yang jauh, maka hal ini dapat memicu terjadinya *call dropped* terhadap unit yang jauh tersebut. Fenomena penyempitan *coverage area* BS ini dikenal dengan istilah *cell breathing* atau *near/far*. *Near/far* dapat menurunkan performa dari unit yang jauh dari BS dan mengurangi kapasitas sistem. Agar didapatkan kualitas dan kapasitas yang optimum, maka level daya yang diterima BS dari setiap MS harus sama besar, baik yang berasal dari MS yang lebih jauh maupun yang lebih dekat.

Untuk tujuan inilah pada, pada CDMA dibutuhkan kontrol daya yang ideal untuk mengurangi efek *near/far*. Daya yang dipancarkan pada unit MS ke BS dikendalikan secara adaptif. Pada kontrol daya dari arah MS ke BS (*reverse link power control*), jika MS menerima sinyal dengan daya tinggi maka MS akan menurunkan daya pancarnya, begitu juga sebaliknya. Kontrol daya dari arah BS ke MS (*forward link power control*) bertujuan untuk meminimalisasi interferensi terhadap sel lain dan untuk mengimbangi interferensi dari sel lain. Pengontrolan level daya dilakukan dengan menurunkan daya pancar BS secara periodik. MS akan mengukur *frame error ratio* (FER) yang terjadi. Ketika FER mencapai nilai 1% maka MS meminta BS untuk tidak menurunkan daya pancarnya lagi<sup>[26]</sup>.

Pada OFDMA, fenomena *near/far* tidak terjadi, sehingga tidak diperlukan algoritma kontrol daya yang kompleks seperti pada CDMA. Namun kekurangan OFDMA dalam hal daya adalah OFDMA memiliki nilai PAPR (*Peak to Average Power Ratio*) yang tinggi. PAPR adalah perbandingan antara daya puncak sinyal dengan daya rata-rata. Superposisi dari dua atau lebih *subcarrier* dapat menghasilkan nilai *puncak* sinyal yang sangat besar dibandingkan dengan daya rata-ratanya. Dalam kondisi demikian PAPR akan bernilai tinggi. Pada transmisi *uplink* nilai PAPR yang rendah sangat dibutuhkan. Nilai PAPR yang tinggi pada sisi *uplink* dapat menyebabkan borosnya konsumsi baterai pada divais pengguna (UE).

Persamaan PAPR ditunjukkan dalam persamaan 4.1<sub>[22]</sub>, dengan  $N$  merupakan jumlah *subcarrier* yang digunakan.

$$\text{PAPR(dB)} = 10\log(N) \quad (4.1)$$

Berdasarkan persamaan di atas terlihat bahwa OFDMA memiliki nilai PAPR tinggi. Kekurangan OFDMA ini ditutupi dengan penggunaan SC-FDMA pada sisi *uplink*. Prinsip kerja keduanya relatif sama membuat SC-FDMA memiliki hampir semua keunggulan yang dimiliki oleh OFDMA. Dibandingkan dengan OFDMA, SC-FDMA yang seolah-olah hanya menggunakan satu *carrier* memiliki nilai PAPR yang relatif lebih rendah, sehingga tidak akan menyebabkan pemborosan daya dari sisi *user*. SC-FDMA tidak digunakan pada sisi *downlink* karena memiliki periode simbol yang lebih lama dibandingkan OFDMA. Dalam transmisi data, sisi *downlink* akan mendapat porsi data yang lebih besar (transmisi asimetris). Untuk transmisi data dengan ukuran besar, penggunaan SC-FDMA dapat menambah delay secara signifikan sehingga dapat mengurangi kualitas layanan. Konsumsi daya besar pada transmitter *downlink* sendiri tidak terlalu dipermasalahkan, sebab jaringan mendapat catu daya yang sifatnya tetap.

#### 4.2.2.4 Perbandingan CDMA dengan OFDMA Secara Umum

Selain perbandingan yang dilakukan berdasarkan parameter di atas sebenarnya masih banyak terdapat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing teknologi akses dalam berbagai hal. Tabel 4.2 merupakan rangkuman perbandingan antara CDMA dan OFDMA secara umum. Teknologi berbasis CDMA sebenarnya sudah cukup untuk menjawab kebutuhan layanan *voice* dan data broadband setidaknya untuk saat ini. Namun, ketika hadir suatu layanan baru yang membutuhkan bandwidth yang lebih tinggi, terutama di daerah dengan trafik tinggi, teknologi OFDMA menawarkan manfaat ekonomi tertentu dan memungkinkan untuk memperlengkapi layanan dan fitur tersebut dengan kualitas yang lebih baik.

Tabel 4.2 Perbandingan CDMA dengan OFDMA

CDMA		OFDMA	
Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan
Mampu beroperasi di lingkungan dengan tingkat noise yang tinggi	Penyerapan energi noise dapat menyebabkan peningkatan BER	Energy noise disebar dengan burst sehingga efeknya berkurang	Burst OFDMA menyebabkan sedikit kenaikan pada level noise
Lebih mudah diimplementasikan dibandingkan dengan sistem dasar OFDMA	Mengalami kerusakan yang besar akibat ISI	Lebih tahan terhadap ISI karena menggunakan <i>data rate</i> yang rendah	Sangat sensitif terhadap <i>carrier frequency offset</i>
Privasi dan keamanan terjamin ( <i>anti-jamming</i> )	Kualitas sistem menurun seiring dengan bertambahnya user	Dapat melawan efek multipath fading dengan kompleksitas yang lebih rendah	Mudah terkontaminasi distorsi nonlinear yang terjadi pada amplifiier dari daya transmisi.
Penggunaan frekuensi radio yang sama memudahkan terjadinya soft handoff antar cell	Ada kemungkinan terjadinya <i>self-jamming</i> jika kode PN tidak orthogonal satu sama lain	Dapat menyesuaikan dengan alokasi spektrum yang tersedia dengan mudah	Sulit melakukan sinkronisasi terhadap sinyal yang tiba di stasiun penerima
Dapat mengirimkan informasi dengan daya yang kecil	Mebutuhkan kontrol daya yang baik untuk mengatasi masalah <i>near-far</i>	Efisien dalam pemakaian frekuensi	Memiliki nilai PAPR yang tinggi (diatasi dengan penggunaan SC-FDMA pada sisi <i>uplink</i> )

### 4.2.3 Perbandingan Teknologi Transmisi

Perbedaan antara teknologi DWDM dengan teknologi SDH yang paling mendasar adalah mengenai hal efisiensi penggunaan media transmisi. Dalam teknologi SDH, sumber sinyal elektrik dikonversikan ke sinyal optikal dan kemudian di tempatkan pada satu panjang gelombang tertentu yang digunakan untuk transmisi menggunakan serat optik. Teknologi DWDM dapat mengakomodir banyak panjang gelombang cahaya yang berbeda dalam satu *core* serat optik. Misalkan dalam suatu keadaan dimana dibutuhkan kapasitas pengiriman data dalam jumlah besar, dengan menggunakan teknologi SDH dibutuhkan 32 *core* serat optik untuk dapat memenuhi permintaan sedangkan dengan menggunakan teknologi DWDM hanya digunakan 1 atau 2 *core* serat optik<sup>[23]</sup>.

Penggunaan serat optik secara lebih efisien memungkinkan teknologi DWDM untuk memberikan kecepatan pengiriman data yang jauh lebih besar. Teknologi SDH hanya mampu membawa 1 X STM-16 = 2,5 Gbps pada satu serat optiknya. Teknologi DWDM mempunyai kemampuan membawa 32 panjang gelombang dalam satu *core* serat optik, sehingga satu *core* serat optik dapat membawa 32 X STM-16 atau 32 X 2,5 Gbps = 800 Gbps. Hal ini juga akan berdampak pada penggunaan *repeater*. Pada teknologi SDH yang membutuhkan lebih banyak serat optik dibandingkan teknologi DWDM secara otomatis akan membutuhkan lebih banyak *repeater*. 32 *repeater* yang dibutuhkan untuk menguatkan sinyal dari masing-masing serat optik dalam teknologi SDH dapat digantikan dengan satu *repeater* yang dapat menguatkan beberapa panjang gelombang sekaligus dengan interval penguatan yang lebih jauh pada teknologi DWDM.

Kemudahan lain yang ditawarkan DWDM melalui penggunaan banyak panjang gelombang cahaya yang berbeda dalam satu *core* serat optik adalah penambahan atau pengurangan kapasitas pengiriman. Pada teknologi SDH penambahan atau pengurangan kapasitas pengiriman dilakukan dengan penambahan atau pengurangan jumlah serat optik yang digunakan. Hal ini akan sulit dilakukan, terutama jika harus dilakukan penambahan jumlah serat optik karena dibutuhkan biaya yang cukup besar. Teknologi DWDM bekerja dengan

pengalokasian panjang gelombang pada serat optik, sehingga kasus ini dapat lebih mudah ditangani.

Permasalahan lain dalam suatu proses transmisi adalah beragamnya jenis protokol yang harus ditangani oleh suatu perangkat. Teknologi SDH mengharuskan jenis-jenis protocol yang berbeda ini dikonversikan terlebih dahulu ke format yang sama seperti pada SDH. DWDM dapat menangani berbagai macam jenis protocol, baik itu ATM, STM, SONET, IP, dll dan menggabungkannya secara optikal serta mengirimkannya. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi DWDM lebih praktis dalam menangani jenis protokol yang berbeda-beda dibandingkan teknologi SDH.

Berdasarkan perbandingan di atas, terlihat bahwa teknologi DWDM lebih unggul dari teknologi SDH. Pada prakteknya, penggunaan teknologi DWDM sudah mulai diterapkan oleh penyelenggara jaringan namun belum seluruhnya. Masih terdapat penggunaan teknologi SDH yang kemungkinan digunakan di daerah rural atau suburban, dimana permintaan trafik dari pelanggan masih dapat ditangani dengan menggunakan teknologi ini.

#### **4.2.4 Perbandingan Teknologi Switching**

Teknologi switching pada 3G yang masih mayoritas digunakan sampai saat ini adalah teknologi *circuit switch*. Sebenarnya teknologi 3G sudah mampu menangani layanan *voice* melalui IP (VoIP), namun layanan ini masih belum populer di Indonesia, dan lagi aset jaringan yang masih beroperasi hingga saat ini mayoritas merupakan jaringan yang mendukung layanan-layanan dari *circuit switch*. Pada *circuit switch*, tiap operator masih terikat dengan satu *vendor* yang menyediakan semua fungsi yang bersifat *proprietary* baik *software*, *hardware*, dan aplikasi dari jaringan. Ketergantungan ini menyebabkan penyelenggara jaringan tidak dapat melakukan inovasi serta biaya pemeliharaan dan implementasi menjadi tinggi.

Pada NGMN, dimana jaringan seluruhnya akan berbasis IP (*all-IP based*), akan digunakan *softswitch*. *Softswitch* memiliki arsitektur yang terbuka sehingga akan mengurangi ketergantungan operator jaringan terhadap *vendor* dalam hal pengembangan dan pemeliharaan. Hal ini akan berdampak secara langsung pada

pengimplementasian layanan baru yang akan menjadi semakin mudah dan membutuhkan dana relatif lebih kecil dibandingkan arsitektur jaringan yang bersifat *proprietary*.

Keuntungan lain dari penggunaan teknologi *softswitch* dibandingkan dengan *circuit switch* adalah memungkinkan manajemen jaringan yang lebih mudah dan efisien. Selain itu, penumpangan data ke dalam jaringan IP oleh *softswitch* akan berdampak pada peningkatan kapasitas jaringan, memungkinkan penyediaan layanan yang lebih cepat, serta mampu menyediakan layanan yang bersifat konvergen dengan jenis trafik yang lebih bervariasi dibandingkan dengan *circuit switch*.

Berdasarkan perbandingan di atas maka terlihat bahwa penggunaan teknologi *softswitch* jauh lebih unggul dibandingkan dengan *circuit switch*. Kehadiran *softswitch* juga menjawab kebutuhan interoperabilitas antar jaringan yang diperlukan untuk menjamin selama masa transisi menuju era NGN, sehingga jaringan yang dikembangkan dan jaringan yang ada saat ini dapat didukung dan dapat beroperasi bersamaan.

### 4.3 Perbandingan Kapasitas

Seperti telah ditunjukkan dalam subbab 2.2 dan 3.2, kapasitas *concurrent user* untuk layanan AMR Speech 12,2 kbps dengan bandwidth 5 MHz, menggunakan modulasi QPSK, untuk teknologi 3G dapat dilayani sebanyak 72 *user*, sedangkan untuk LTE dapat dilayani sebanyak 263 *user*. Nilai ini tidak persis sama dengan nilai yang didapat dari grafik *voice spectral efficiency* pada Gambar 2.6 dan Gambar 3.10.

Perbedaan ini disebabkan oleh karena perhitungan didasarkan pada asumsi bahwa semua *resources* jaringan (*channel element* pada 3G dan *resource block* pada LTE) digunakan untuk menangani trafik layanan *voice* ini. Pada kenyataannya dari keseluruhan *resources* tersebut ada yang digunakan untuk keperluan sinkronisasi, informasi kontrol antara BS dengan MS, inisialisasi akses ke sistem, dsb.

Selain itu, beberapa nilai dari *variable* yang digunakan dalam perhitungan merupakan nilai yang direkomendasikan untuk kondisi tersebut atau nilai yang

digunakan pada kondisi operasional. Dalam perhitungan kapasitas WCDMA, *load factor* diasumsikan bernilai 50% berdasarkan kondisi perangkat RBS 3G di lapangan yang sebagian besar tidak dipasang dengan kapasitas maksimumnya untuk menghindari kelebihan *resource* jaringan yang sia-sia. Pengguna layanan *voice* diasumsikan hanya aktif selama 67% dari waktu percakapan dan interferensi *co-channel* dari cell lain diasumsikan bernilai 65% dengan kondisi digunakan makro cell dengan 3 sektor [sumber data: Harri Holma dan Antti Toskala, *WCDMA for UMTS: HSPA evolution and LTE*, halaman 180]. Nilai minimum  $E_b/N_o$  pada sisi uplink dengan kondisi *voice activity* 100% adalah sebesar 4,5 dB [sumber data: Harri Holma dan Antti Toskala, *WCDMA for UMTS: HSPA evolution and LTE*, halaman 329]. Karena *voice activity* yang digunakan bernilai 67%, maka nilai  $E_b/N_o$  diasumsikan sebesar 3 dB. Secara operasional  $E_b/N_o$  yang digunakan pada perencanaan dapat bernilai 3-6 dB lebih tinggi dari  $E_b/N_o$  minimum yang dipersyaratkan, terkait dengan masalah *near/far* pada CDMA. Hal ini dilakukan untuk menjamin ketersediaan daya pancar bagi pengguna yang lokasinya jauh dari *base station*.

Pada perhitungan kapasitas LTE, nilai *coding rate* diasumsikan sebesar 50%, dengan modulasi QPSK. Pengambilan nilai ini berdasarkan penjelasan berikut. Semakin tinggi ordo modulasi maka nilai *coding rate* akan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya. Meningkatnya *coding rate* akan meningkatkan efisiensi, namun jumlah bit *parity*-nya akan semakin kecil. Untuk kondisi lingkungan dengan tingkat interferensi tinggi, penggunaan modulasi ordo rendah lebih disarankan karena memiliki *error control coding* yang lebih baik. Namun pada kenyataannya nilai *coding rate* dan jenis modulasi yang digunakan bisa saja berbeda dengan nilai yang diasumsikan.

Kedua hal inilah yang menyebabkan adanya perbedaan hasil perhitungan dengan nilai dari *voice spectral efficiency* walaupun perbedaannya tidak signifikan. Pada kenyataannya sulit untuk mengetahui berapa total *user* yang dapat dilayani dalam suatu waktu terdapat banyak faktor yang perlu diperhatikan. Misalnya saja, pada RBS 3G dapat terjadi perbedaan nilai CE antara software dan hardware, dan lagi untuk perhitungan ini tidak dilihat berapa kapasitas E1 (media transmisinya) yang digunakan. Tentunya semakin banyak E1 yang digunakan

akan semakin banyak juga UE yang dapat ditangani. Secara umum memang sulit mengetahui banyaknya *concurrent user*, yang dapat diketahui dengan pasti adalah banyaknya *call setup* dalam suatu waktu yang terlihat dengan bantuan software pendukung dari RBS itu sendiri.

Dari hasil perhitungan, terlihat bahwa untuk ukuran bandwidth yang sama, LTE mampu menangani sekitar 4 kali lipat lebih banyak user dibandingkan dengan 3G. Namun kapasitas ini bukanlah perhitungan kapasitas maksimum. Maksimum bandwidth pada LTE dapat mencapai 20 MHz, sehingga berdasarkan grafik *voice spectral efficiency*, total *concurrent user* yang dapat ditampung mencapai 960 *user*, sekitar 15 kali lipat dibandingkan kapasitas 3G. Melalui perbandingan hasil perhitungan ini terlihat bahwa untuk ukuran bandwidth yang sama, LTE mampu melayani lebih banyak user dibandingkan dengan 3G. Diharapkan melalui penggunaan bandwidth yang lebih efisien ini, biaya untuk penggunaan layanan dapat diturunkan.

#### 4.4 Perbandingan Kualitas

Pada teknologi WCDMA 3G dengan LTE, terlihat bahwa keduanya telah menerapkan pembedaan layanan sesuai dengan karakteristik trafik layanan serta mengatur dan memberikan prioritas trafik berdasarkan jenis layanan. Selain itu, keduanya pun sepakat menempatkan layanan *voice* sebagai layanan dengan prioritas tertinggi, dengan alasan bahwa layanan jenis ini sensitif terhadap delay. Syarat yang harus dipenuhi untuk penyelenggaraan layanan *voice* adalah delay harus dibawah 200 ms. Persyaratan delay ini dapat dipenuhi oleh teknologi WCDMA dalam penyediaan layanan *voice* dengan delay berkisar antara 150-200 ms<sup>[9]</sup>. Begitu pula dengan tingkat *call drop*. Performa terbaik dari jaringan WCDMA mampu menekan tingkat *call drop* hingga di bawah 0.3%<sup>[20]</sup>. LTE paling tidak harus mampu menawarkan kualitas layanan *voice* dengan delay dan tingkat *call drop* yang sama kepada pelanggan.

Kualitas dari layanan *voice* bergantung pada tipe *voice codec* yang digunakan dan nilai *end-to-end delay*. VoIP, sebagai layanan *voice* pada LTE menggunakan *voice codec* standar 3GPP yakni AMR, yang juga digunakan oleh WCDMA 3G. LTE mampu menyediakan delay yang lebih kecil untuk layanan

ini, yakni 160 ms, sehingga kualitas layanan yang dihasilkan relatif lebih baik dibandingkan dengan layanan yang sama pada jaringan WCDMA 3G.

Pada teknologi WCDMA 3G, seperti yang telah dibahas pada subbab 4.2.2.3, efek dari penggunaan teknik akses CDMA adalah timbulnya fenomena *near/far*, yang menyebabkan menyempitnya *coverage* dari *base station*. Bila *coverage* dari beberapa sel yang berdampingan mengecil maka pada daerah perbatasan antar sel tidak lagi masuk ke dalam cakupan *base station*. Daerah yang tidak terlayani ini disebut *blankspot*. Dan jika hal ini terjadi ketika panggilan dilakukan di area tersebut maka dapat menyebabkan terjadinya *call drop*. Salah satu solusi yang mungkin dilakukan untuk memperbaiki permasalahan *coverage* ini adalah dengan menambah *base station* baru di area yang memiliki tingkat *call drop* tinggi. Namun ini bukan merupakan solusi yang murah dan mudah untuk direalisasikan.

Pada LTE, fenomena ini tidak terjadi, sehingga memungkinkan LTE untuk menawarkan tingkat *call drop* yang lebih rendah. Selain itu, berdasarkan perbandingan kapasitas dalam subbab 4.3, dengan ukuran bandwidth yang sama terlihat bahwa LTE mampu menyediakan kapasitas yang lebih besar untuk layanan yang sama dibandingkan dengan WCDMA 3G. Hal ini memungkinkan LTE mampu mencakup jaringan yang lebih luas, melayani lebih banyak trafik dengan jumlah *base station* yang lebih sedikit dibandingkan dengan WCDMA 3G, sehingga pelanggan layanan *voice* dapat terlayani dengan baik bahkan pada jam sibuk sekalipun.

Perbandingan di atas menunjukkan bahwa layanan *voice* akan bekerja dengan sangat baik pada jaringan LTE karena LTE mampu menyediakan delay yang lebih kecil serta penggunaan bandwidth yang jauh lebih efisien, dimana kedua hal ini merupakan hal yang penting dalam penyediaan layanan *voice*.

Permasalahan lainnya terkait dengan kualitas penyediaan layanan, pada era NGN jaringan akan berbentuk *all IP network* dan bersifat terbuka. Aplikasi yang ditawarkan kepada pelanggan pun akan semakin bervariasi. Masing-masing aplikasi ini memiliki jenis kebutuhan yang berbeda. Di sisi lain, tipe layanan yang dominan pada jaringan IP saat ini adalah layanan *best-effort*, dimana bandwidth akan dialokasikan secara merata (*equal*) kepada semua aliran trafik yang ada.

Trafik diproses secepat mungkin tetapi tidak ada jaminan pengalokasian sumber daya jaringan yang menyebabkan tidak adanya garansi paket tersebut akan benar-benar sampai ke tujuannya. Hal inilah yang menyebabkan QoS pada jaringan IP sangat dibutuhkan untuk memberikan kualitas penyediaan layanan yang lebih baik kepada pelanggan. Skema QoS yang dapat diterapkan pada jaringan 3G dan LTE adalah IntServ dan DiffServ.

Pada model QoS IntServ, aplikasi akan meminta tingkat layanan yang dibutuhkan untuk dapat beroperasi dan bergantung pada mekanisme QoS untuk menyediakan sumber daya jaringan yang dimulai sejak awal transmisi. Aplikasi tidak akan mengirimkan trafik, sebelum menerima konfirmasi bahwa jaringan mampu menerima beban yang akan dikirimkan aplikasi dan juga mampu menyediakan QoS yang diminta secara *end-to-end*. Untuk itu, jaringan akan melakukan suatu proses yang disebut *admission control*, yakni suatu mekanisme yang menghindarkan kemungkinan terjadinya *over-loaded* dari jaringan. Hal ini merupakan keunggulan IntServ. Kelemahan IntServ adalah bahwa banyaknya *state* harus disimpan dalam setiap router. IntServ bekerja pada skala kecil, tetapi digunakan pada sistem ukuran internet, sangat sulit untuk melacak semua pemesanan. Salah satu cara untuk memecahkan masalah ini adalah dengan menggunakan pendekatan multi-level, dimana setiap aliran pemesanan sumber daya jaringan untuk pengguna dilakukan dalam jaringan ujung, sementara sumber daya jaringan inti disiapkan untuk aliran data. Router harus menyesuaikan jumlah bandwidth yang dipesan dari jaringan inti sehingga permintaan pemesanan untuk mengalir individu dari jaringan tepi dapat lebih puas. Namun mekanisme ini mengakibatkan IntServ menjadi sulit diimplementasikan.

DiffServ tidak memerlukan konfigurasi terlebih dahulu, pemesanan tidak ada, dan tidak memakan waktu end-to-end negosiasi untuk aliran masing-masing, dengan layanan terpadu. Hal ini menyebabkan DiffServ relatif mudah untuk diimplementasikan. Salah satu kelemahan DiffServ adalah bahwa setiap operator jaringan dapat dengan bebas menentukan bagaimana router dari masing-masing operator mengatur jenis layanan. Hal ini akan menjadi lebih rumit jika sebuah paket harus melintasi dua atau lebih DiffServ sebelum mencapai tujuan. Dari sudut pandang komersial, hal ini merupakan kelemahan utama, karena tidak

mungkin menyediakan kelas yang berbeda dalam konektivitas *end-to-end* kepada pengguna akhir. Operator jaringan dapat memperbaiki hal ini, dengan menegakkan kebijakan standar bagi seluruh operator jaringan.

Berdasarkan faktor-faktor yang menjadi kelemahan dan keunggulan dari masing-masing skema, DiffServ relatif lebih baik untuk digunakan dibandingkan IntServ untuk jaringan dengan rentang geografis yang kecil. Diharapkan penerapan skema QoS ini dapat membantu memperbaiki kualitas penyediaan layanan pada kedua jaringan.

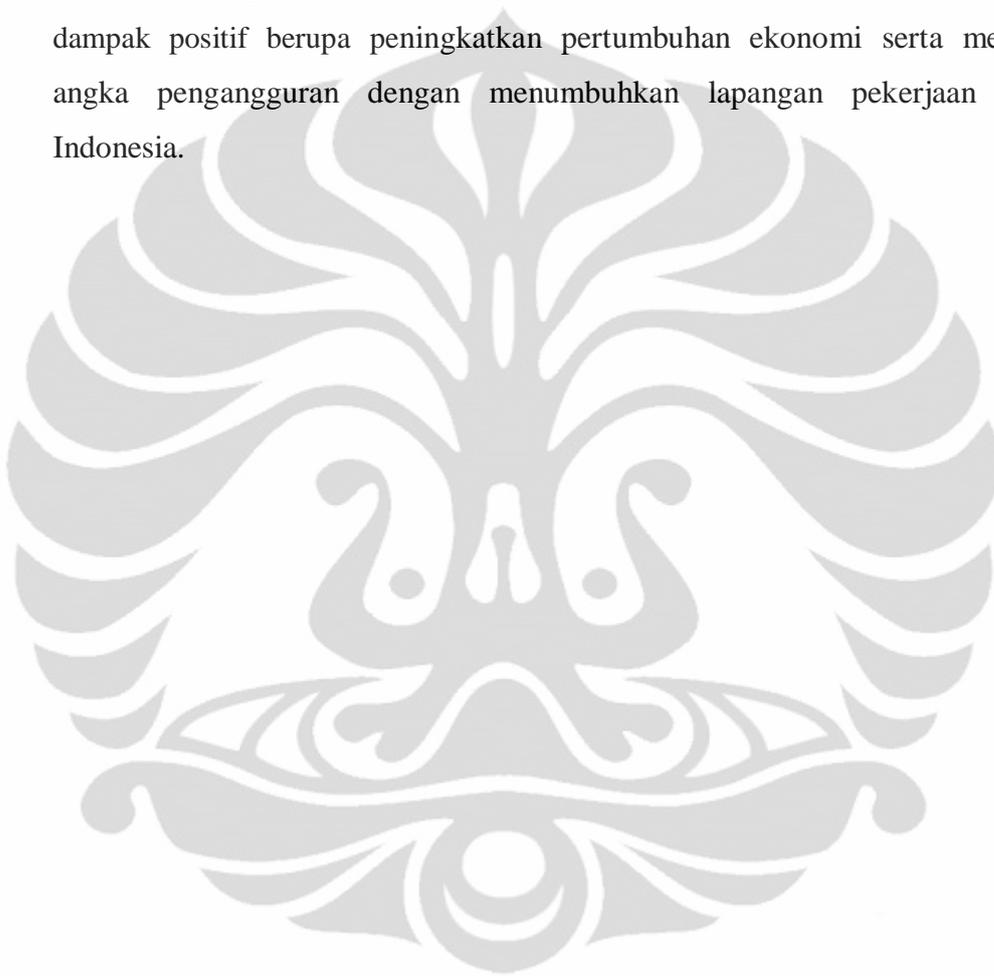
#### 4.5 Rangkuman Perbandingan Jaringan 3G dengan NGMN

Dalam penyelenggaraan suatu jaringan telekomunikasi, terdapat hal-hal yang menjadi harapan dari masing-masing pihak terkait. Operator jaringan mengharapkan investasinya semakin dioptimalkan, antara lain dengan berkurangnya biaya operasional, pengembangan arsitektur jaringan, perawatan yang mudah, serta kehandalan jaringan dalam menjaga kualitas layanan. Pengguna jaringan mengharapkan operator jaringan dapat memberikan jaminan QoS pada semua layanan, memunculkan layanan-layanan baru yang dapat memenuhi kebutuhan pengguna serta biaya penggunaan layanan yang lebih murah. Regulator menginginkan pengguna tidak dirugikan oleh penyelenggaraan jaringan dan persaingan antar operator dapat tetap dipertahankan.

Keberadaan teknologi 3G saat ini dinilai kurang mampu memenuhi harapan-harapan tersebut. Pada dasarnya teknologi 3G dapat menyediakan layanan *voice* dan layanan *real-time* lainnya dengan kualitas yang baik. Namun muncul permasalahan baru. Jumlah pelanggan seluler saat ini yang telah mencapai sekitar 80 persen populasi penduduk seiring berjalannya waktu akan semakin sulit bertambah. Hal ini akan menyebabkan persaingan bisnis antar 11 operator seluler di Indonesia mencapai suatu titik jenuh. Permasalahan ini menuntut operator telekomunikasi untuk memikirkan kembali infrastruktur telekomunikasi seperti apa yang harus dibangun untuk mengantisipasi perkembangan teknologi ke depan dan dapat terus bersaing dalam industri telekomunikasi.

LTE, sebagai teknologi radio *Next Generation*, memberikan jawaban atas permasalahan tersebut. Arsitektur yang lebih sederhana, efisiensi spektrum dan

*resources* yang tinggi, kapasitas yang lebih besar, serta kualitas penyediaan layanan yang baik memungkinkan operator untuk mendukung peningkatan jumlah pelanggan serta memberikan layanan-layanan baru yang menuntut spesifikasi tinggi dengan kualitas yang lebih baik dengan biaya yang *affordable* bagi para pelanggan. LTE memungkinkan penyediaan variasi layanan yang inovatif dan interaktif, yang dapat menjadi lahan persaingan baru bagi para operator seluler. Hal ini akan memberi dampak positif berupa peningkatan pertumbuhan ekonomi serta mengurangi angka pengangguran dengan menumbuhkan lapangan pekerjaan baru di Indonesia.



## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Dari hasil perbandingan teknologi yang meliputi perbandingan arsitektur jaringan, teknologi akses, teknologi transmisi, teknologi switching, terlihat bahwa LTE lebih unggul dengan arsitektur jaringan yang lebih sederhana, teknologi akses yang lebih optimal, serta teknologi transmisi dan teknologi switching yang lebih efisien.
2. Untuk layanan AMR Speech 12,2 kbps dengan total bandwidth yang sama, LTE mampu melayani lebih banyak *concurrent user*, yakni hampir mencapai 4 kali lipat total *concurrent user* yang mampu diakomodasi oleh teknologi 3G.
3. LTE mampu menyediakan kualitas yang lebih baik untuk layanan *voice* dan layanan *real-time* lainnya dengan delay yang lebih rendah, yakni dibawah 160 ms dibandingkan teknologi 3G dengan delay 150 - 200ms.
4. Untuk pengelolaan QoS yang lebih baik, secara khusus untuk jaringan IP, kedua jaringan, baik jaringan WCDMA 3G maupun NGMN, dapat menerapkan skema manajemen QoS DiffServ yang relatif lebih baik dibandingkan IntServ untuk jaringan dengan rentang geografis yang kecil.

**DAFTAR ACUAN**

- [1] Budianto, E., 2010, “Layanan Data, Internet dan IT Mencatat Rekor dan Menjadi Growth Driver yang Penting Bagi TELKOM”, <http://surabayawebs.com/> (diakses tanggal 31 Maret 2011)
- [2] Anonim, 2010, “ATSI: Jumlah Pelanggan Seluler Tembus 180 Juta”, <http://www.antaraneews.com/> (diakses tanggal 6 Februari 2011)
- [3] Anonim, 2010, “3G”, <http://id.wikipedia.org/wiki/3G> (diakses tanggal 6 Februari 2011)
- [4] Syafari, A., “Sekilas Tentang Teknologi 3G”, [www.ilmukomputer.com/](http://www.ilmukomputer.com/) (diakses tanggal 9 Februari 2011)
- [5] Palunsu, J., 2004, “Kajian Sistem Keamanan Jaringan 3G dan CDMA 2000 1x EV-DV”, Makalah, Program Magister Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung.
- [6] Rizkia, P., 2008, “Konsep Dasar Sistem WCDMA”, <http://www.itelkom.ac.id> (diakses tanggal 9 Februari 2011)
- [7] Anonim, 2009, “Arsitektur 3G”, [jaringantelekomunikasi.wordpress.com](http://jaringantelekomunikasi.wordpress.com) (diakses tanggal 9 Februari 2011)
- [8] Mishra, A., 2007, “Advanced Cellular Network Planning and Optimisation”, John Wiley & Sons Ltd.
- [9] Holma, H., Toskala, A., 2010, “WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE”, John Wiley & Sons Ltd.
- [10] Anonim, 2005, “WCDMA RAN Overview Solution Description”, Ericsson.
- [11] Rahadian, S., 2009, “Analisis Efisiensi Kapasitas Kanal pada Jaringan 3G dengan Menggunakan Metode Throughput Based Optimization dan 16 kbps UL Return Channel”, Seminar, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [12] Anonim, "Overview of 3GPP Release 1999 V0.1.1 (2010-02)". <http://www.3GPP.org> (diakses tanggal 27 April 2011)
- [13] Wastuwibowo, K., "Pengantar MPLS", [www.ilmukomputer.com/](http://www.ilmukomputer.com/) (diakses tanggal 29 Juni 2011)
- [14] ITU-T Rec. Y.2001. "General Overview of NGN". Dec. 2004.
- [15] Anonim, 2006, "NGN TELKOM Project – Activity 3.4", [xa.yimg.com](http://xa.yimg.com) (diakses tanggal 17 November 2010)
- [16] Cahya, H., "Next Generation Network", <http://telekomui.org/?p=88> (diakses tanggal 5 September 2010)
- [17] Anonim, 2008, "NGMN Work Programme", <http://www.ngmn.org/> (diakses tanggal 5 September 2010)
- [18] 3GPP *Technical Report (TR) 25.913*
- [19] Nasution, K. Y., "Arsitektur dan Konsep Radio Access pada Long Term Evolution (LTE)", Makalah Seminar Kerja Praktek, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [20] Holma, H., Toskala, A., 2009, "LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access", John Wiley & Sons Ltd.
- [21] Putra, A.D., Zahra, A.A., Santoso, I., "Evaluasi Kinerja OFDMA dengan Modulasi Adaptif pada Kanal Downlink", Seminar, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [22] Rudyanto, Y., "Lapisan Fisik pada Teknologi Long Term Evolution (LTE) di PT Telkom R&D Center Bandung", Makalah Seminar Kerja Praktek, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [23] Adi, R. A., 2010, "Penerapan Teknologi Dense Wavelength Division Multiplexing pada Infrastruktur Telekomunikasi PT. TELKOM", Laporan Kerja Praktek, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

- [24] Wastuwibowo, K., “Pengantar Next Generation Network”, [www.ilmukomputer.com/](http://www.ilmukomputer.com/) (diakses tanggal 10 September 2010)
- [25] Moray, R., 2009, “LTE and the Evolution to 4G Wireless”, Agilent Technologies.
- [26] H., Alfin, 2008, “Diktat Kuliah Akatel”, <http://sinauonline.50webs.com/> (diakses tanggal 10 Juni 2011)

