



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERKIRAAN KEBUTUHAN SPEKTRUM FREKUENSI
UNTUK IMPLEMENTASI LAYANAN MOBILE BROADBAND
DI INDONESIA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

**ADITYA YOGA PERDANA
04 05 03 703Y**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Aditya Yoga Perdana

NPM : 040503703Y

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Aditya Yoga Perdana
NPM : 040503703Y
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : “Perkiraan Kebutuhan Spektrum Frekuensi untuk Implementasi Layanan Mobile Broadband di Indonesia”

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Djamhari Sirat M.Sc., Ph.D (.....)
Penguji : Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan M.Eng (.....)
Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Saya bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, sebab atas berkat dan kasih-Nya lah, tulisan ini dapat terselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tanpa bantuan dari berbagai pihak, tentunya akan menjadi sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan tulisan ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Djamhari Sirat, M.sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan segenap waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tulisan ini,
- (2) Denny Setiawan, Kasubdit Penataan Frekuensi Ditjen Postel, yang telah memberikan banyak inspirasi dan pengarahan dalam penyusunan tulisan ini,
- (3) Bastari Miral, konsultan independen, kontraktor PT. Citra Nusa Cemerlang, yang telah berbagi ilmu dan memberikan pengarahan dalam penyusunan tulisan ini,
- (4) Orang tua tercinta, saudara-saudara dan kerabat sekalian yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral, dan
- (5) Sahabat-sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan hati semua pihak yang telah memberikan bantuan. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 15 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Aditya Yoga Perdana
NPM : 040503703Y
Program Studi : Telekomunikasi
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian 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 :

“Perkiraan Kebutuhan Spektrum Frekuensi untuk Implementasi Layanan Mobile Broadband di Indonesia”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 15 Desember 2009

Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama : Aditya Yoga Perdana
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : “Perkiraan Kebutuhan Spektrum Frekuensi untuk Implementasi Layanan Mobile Broadband di Indonesia”

Dengan meningkatnya adopsi masyarakat terhadap layanan *mobile broadband*, akan dibutuhkan peningkatan kapasitas jaringan yang berimplikasi pada bertambahnya kebutuhan spektrum frekuensi. Untuk mencukupi kebutuhan tersebut, diperlukan suatu perkiraan yang cermat mengenai lebar spektrum yang harus tersedia sampai beberapa tahun ke depan. Pada penelitian ini digunakan model Bass dengan parameter penjasar untuk memperkirakan jumlah potensi demand dengan skenario pasar yang berbeda antara tahun 2011 sampai 2020. Untuk mengetahui kapasitas jaringan yang diperlukan, juga dilakukan *network dimensioning* jaringan *mobile broadband*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alokasi spektrum BWA saat ini hanya bisa mencukupi kebutuhan spektrum frekuensi sampai tahun 2013, selebihnya dibutuhkan tambahan alokasi spektrum sebesar 25 MHz – 85 MHz pada tahun 2014, 15 MHz - 150 MHz antara 2015 – 2017, 470 MHz - 750 MHz antara 2018 -2019 dan 1230 MHz - 1735 MHz pada 2020.

Kata kunci:

Spektrum frekuensi, *mobile broadband*, kapasitas jaringan, alokasi spektrum

ABSTRACT

Name : Aditya Yoga Perdana
Major : Electrical Engineering
Title : “Estimation of Frequency Spectrum Demand for Mobile
Broadband Implementation in Indonesia”

Along with the growth of mobile broadband service adoption, network capacity upgrade will be required, resulting in the increase of radio frequency spectrum requirement. To fulfill this requirement, an accurate assessment of spectrum that should be available for several years ahead is needed. In this research, Bass model with explanatory parameter was used to estimate the number of potential demand in different market scenario between 2011 until 2020. To assess the requirement of network capacity, a network dimensioning of mobile broadband network is performed. This research show that existing BWA spectrum allocation would fulfill radio spectrum requirement until 2013, in the next following years it found that in 2014 an extra spectrum 25 MHz – 85 MHz in width should be identified, 15 MHz - 150 MHz between 2015 – 2017, 470 MHz - 750 MHz between 2018 - 2019, and 1230 MHz - 1735 MHz in 2020.

Keywords:

Radio frequency spectrum, mobile broadband, network capacity, spectrum allocation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.1.1. Definisi <i>Broadband</i>	1
1.1.2. Status <i>Broadband</i> di Indonesia	3
1.1.3. Tinjauan Kebutuhan Spektrum Mobile Broadband	8
1.2. Perumusan Masalah	9
1.3. Tujuan	9
1.4. Batasan masalah	9
1.5. Metodologi Penelitian.....	9
1.6. Sistematika penulisan	11
2. TEKNOLOGI MOBILE BROADBAND	12
2.1. Long Term Evolution	12
2.1.1. Arsitektur LTE.....	12
2.1.2. Performa dan Karakteristik LTE	15
2.1.3. Frekuensi Kerja LTE.....	16
2.2. Mobile WiMAX	17
2.2.1. Arsitektur Mobile WiMAX	17
2.2.2. Performa dan Karakteristik Mobile WiMAX.....	19
2.2.3. Frekuensi Kerja Mobile WiMAX	20
2.3. <i>Teknologi Kunci</i> pada LTE dan Mobile WiMAX.....	20
3. NETWORK DIMENSIONING	25
3.1. Network Supply.....	25
3.2. Perkiraan Kapasitas Jaringan	27
3.2.1. <i>Demand Forecasting</i>	27
3.2.1.1. Potensi <i>Demand Mobile Broadband</i>	27
3.2.1.2. Model Pertumbuhan Bass	27
3.2.1.3. Model Bass dengan Parameter Penjelas	28
3.2.1. <i>Benchmarking Kebijakan Broadband</i>	30
3.2.3. Perkiraan <i>Coverage Base Station</i>	32
3.2.3.1. Penggolongan Karakteristik Wilayah Jabodetabek.....	32
3.2.3.2. <i>Uplink Budgeting</i>	33

3.2.3.3. Model Propagasi dan Luas Area Sel	34
3.2.4. Perkiraan Kapasitas <i>Base Station</i>	36
3.2.4.1. <i>Frequency Reuse</i>	36
3.2.4.2. <i>Throughput</i> per Sektor	37
3.2.5. Contention Ratio	38
3.2.6. Perkiraan Kebutuhan Kapasitas Jaringan Mobile Broadband	39
4. PERKIRAAN DAN ANALISIS KEBUTUHAN SPEKTRUM	40
4.1. Perhitungan Perkiraan <i>Demand</i>	40
4.2. Penentuan <i>Bitrate</i> per <i>User</i>	43
4.3. Perhitungan Jumlah <i>Base Station</i>	44
4.4. Perhitungan <i>Throughput</i> per <i>Base Station</i>	46
4.5. Kebutuhan Spektrum	49
5. KESIMPULAN	54
DAFTAR REFERENSI	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Negara dengan Pertumbuhan <i>Broadband</i> Tertinggi per Kuartal 3 Tahun 2007	4
Gambar 1.2. Negara dengan Pertumbuhan <i>Broadband</i> Tertinggi Tahun 2006-2007.....	4
Gambar 1.3. Pengguna dan Pelanggan Internet di Indonesia.....	5
Gambar 1.4. <i>Market Share</i> Penyelenggara <i>Broadband</i> di Indonesia (akhir 2007)	7
Gambar 1.5 <i>Flowchart</i> Perkiraan Kebutuhan Spektrum <i>Mobile Broadband</i>	10
Gambar 2.1. Arsitektur 3G.....	13
Gambar 2.2. Arsitektur <i>Evolved System</i>	13
Gambar 2.3. Arsitektur LTE dengan E-UTRAN.....	14
Gambar 2.4. Pemisahan Fungsi antara E-UTRAN dan EPC	14
Gambar 2.5. <i>Reference Model</i> Jaringan WiMAX	18
Gambar 2.6. Arsitektur Jaringan WiMAX Berbasis IP	19
Gambar 2.7. Sinyal OFDM	13
Gambar 2.8. Sinyal OFDMA.....	14
Gambar 2.9. Sinyal SC-FDMA	15
Gambar 2.10. Skema Sistem MIMO	16
Gambar 3.1. Bentuk Kurva pada Model Bass	29
Gambar 3.2. Konfigurasi Transmisi untuk <i>Uplink Budget</i>	32
Gambar 3.3. Bentuk Sel pada Jaringan Seluler	36
Gambar 3.4. Konfigurasi <i>Frequency Reuse</i> (1,3,3)	38
Gambar 3.5. Konfigurasi <i>Frequency Reuse</i> (1,1,3)	38
Gambar 4.1. Perkiraan Penetrasi <i>Mobile Broadband</i> 2010-2020.....	42
Gambar 4.2. Wilayah Jabodetabek Berdasarkan Kepadatan Populasi	44
Gambar 4.3. Sebaran Probabilitas SINR pada sistem OFDMA	47
Gambar 4.4. Efisiensi Spektrum LTE untuk Berbagai MCS	47
Gambar 4.5. Efisiensi Spektrum mobile WiMAX untuk Berbagai MCS	48
Gambar 4.6. Grafik Penambahan Spektrum per Sektor BS 2011-2020 ($s = 20\%$).....	50
Gambar 4.7. Grafik Penambahan Spektrum per Sektor BS 2011-2020 ($s = 50\%$).....	51
Gambar 4.8. Grafik Penambahan Spektrum per Sektor BS 2011-2020 ($s = 80\%$).....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Frekuensi Kerja LTE	16
Tabel 2.2	Frekuensi Kerja Mobile WiMAX	20
Tabel 3.1.	Alokasi Frekuensi IMT, IMT-2000 dan <i>Wireless Broadband</i>	25
Tabel 3.2.	Pita Frekuensi Potensial untuk Implementasi LTE	26
Tabel 3.3.	Pita Frekuensi Potensial untuk Implementasi mobile WiMAX....	26
Tabel 3.4.	Kebutuhan <i>Bitrate</i> Berbagai Aplikasi (skenario India)	31
Tabel 3.5.	Komposisi Pelanggan <i>Broadband</i> India	31
Tabel 3.6.	Timeline dan Target Numerik <i>Broadband</i> di USA.....	32
Tabel 3.7.	Penggolongan Area Berdasarkan Kepadatan Populasi.....	32
Tabel 4.1.	Penduduk Usia Potensial (2005)	40
Tabel 4.2.	Proyeksi Laju Pertumbuhan Penduduk.....	40
Tabel 4.3.	Persentase Penduduk Miskin 2009.....	41
Tabel 4.4.	Potensi <i>Demand Broadband</i> 2009.....	41
Tabel 4.5.	Potensi <i>Demand Mobile Broadband</i> 2010-2020.....	42
Tabel 4.6.	Asumsi Kebutuhan <i>Bitrate per User Mobile Broadband</i> di Indonesia	43
Tabel 4.7.	Luas Jabodetabek Berdasarkan Kepadatan Populasi.....	44
Tabel 4.8.	<i>Uplink Budget</i> LTE dan Mobile WiMAX	45
Tabel 4.9.	Hasil Perhitungan Jumlah BS LTE	45
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan Jumlah BS mobile WiMAX	45
Tabel 4.11.	<i>Throughput</i> yang Dihasilkan Berbagai MCS pada LTE	46
Tabel 4.12.	<i>Throughput</i> yang Dihasilkan Berbagai MCS pada mobile WiMAX.....	46
Tabel 4.13.	Perkiraan Kebutuhan Kapasitas BS 2011-2020	48
Tabel 4.14.	Perkiraan Penambahan Bandwidth per Sektor BS 2011-2020.....	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), lambat laun pemanfaatan teknologi tersebut di berbagai bidang menjadi faktor yang semakin penting dalam memicu peningkatan pertumbuhan sosial ekonomi suatu negara. Penelitian terdahulu mengenai keterkaitan antara pola pertumbuhan dengan kontribusi sektor TIK di beberapa negara, yaitu Korea Selatan, Malaysia, Taiwan, Filipina, Singapura, Cina dan India menemukan bahwa pertumbuhan sosial-ekonomis yang begitu cepat di negara-negara tersebut secara signifikan dipengaruhi oleh akses informasi yang efisien dan hemat biaya [31]. Di masa sekarang ini, akses *broadband* menjadi pilihan utama pemanfaatan TIK untuk menyediakan akses informasi yang efisien dan murah. Hal ini diperkuat penelitian yang dilakukan oleh McKinsey&Company pada Februari 2009 yang menyebutkan bahwa kenaikan penetrasi *broadband* sebesar 10 persen akan meningkatkan GDP antara 0.1 persen sampai 1.4 persen [14].

1.1.1 Definisi *Broadband*

Tidak ada definisi yang baku tentang layanan *broadband* mengingat parameter yang digunakan untuk mendefinisikan *broadband* sangat bervariasi di tiap wilayah dan tiap skenario. Namun demikian, umumnya institusi negara atau organisasi dapat mendefinisikan layanan *broadband* dengan tolak ukur kecepatan rata-rata minimum (*broadband speed*), yang dapat mendukung berbagai aplikasi yang umum digunakan. Berikut ini definisi *broadband* di berbagai negara dan organisasi:

1. Indonesia

Menurut Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika nomor 08/PER/M.KOMINFO/01/2009 tentang Penetapan Pita Frekuensi Radio untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (*Wireless Broadband*) pada Pita Frekuensi Radio 2.3 GHz pada pasal 1 poin 8

dinyatakan: “Layanan pita lebar nirkabel (*wireless broadband*) adalah layanan telekomunikasi nirkabel yang kecepatan transmisi datanya sekurang-kurangnya 256 kbps” [33].

2. India

Kebijakan *broadband* yang dibuat oleh Telecom Regulatory Authority of India (TRAI) mendefinisikan layanan *broadband* dengan detil sebagai: “An ‘always-on’ data connection that is able to support interactive services including Internet access and has the capability of the minimum download speed of 256 kilo bits per second (kbps) to an individual subscriber from the Point of Presence (POP) of the service provider intending to provide Broadband service where multiple such individual Broadband connections are aggregated and the subscriber is able to access these interactive services including the Internet through this POP. The interactive services will exclude any services for which a separate license is specifically required, for example, real-time voice transmission, except to the extent that it is presently permitted under ISP license with Internet Telephony” [43].

3. Malaysia

Broadband Wireless Access (BWA) didefinisikan sebagai akses data *broadband* nirkabel untuk pasar *consumer* dan *business*. BWA meliputi suatu layanan *always-on* yang terdiri dari BWA *fixed*, *nomadic* dan *mobile* dengan kecepatan *minimum downstream* atau *upstream* 256 kbps [42].

4. Jepang

Jepang mendefinisikan layanan “*High speed broadband*” dengan kecepatan minimum 30 Mbps [34].

5. International Telecommunication Union (ITU)

Menurut ITU, *broadband* dapat didefinisikan sebagai *bandwidth* yang mencukupi untuk mendukung berbagai layanan seperti *voice*, *data*, dan *video*. Kecepatannya harus diatas 256 kbps, sebagai total kapasitas untuk kedua arah [43].

6. Federal Communications Commission (FCC), USA

FCC mendefinisikan “*broadband*” sebagai kemampuan untuk menyediakan, baik dari *provider* ke *consumer* (*downstream*) maupun dari *consumer* ke *provider* (*upstream*), kecepatan lebih dari 200 kbps pada *last mile*. Kecepatan tersebut kira-kira empat kali lebih cepat daripada akses internet dengan menggunakan saluran telepon pada 56 kbps. Proses konsultasi sedang dilakukan untuk pembaruan definisi *broadband* ini [43].

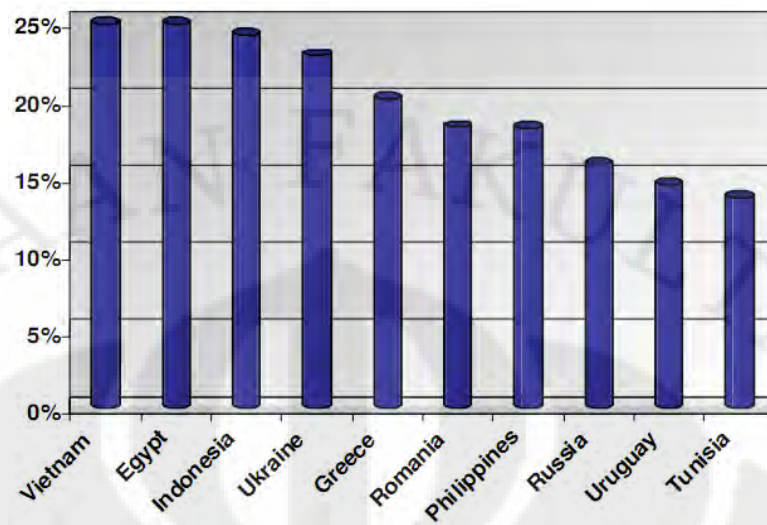
7. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

OECD mendefinisikan *broadband* sebagai koneksi internet dengan kemampuan untuk mendukung kecepatan download kepada setiap pengguna lebih besar atau sama dengan 256 kbps [43].

1.1.2 Status *Broadband* di Indonesia

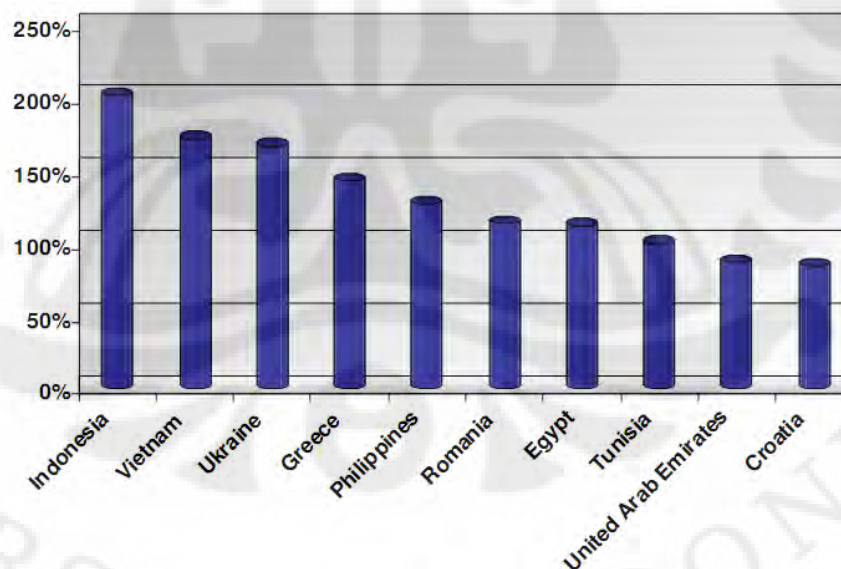
Menurut laporan World Broadband Statistic kuartal ke 3 tahun 2007 oleh Point Topic Ltd yang mencakup layanan *broadband* via serat optik, *Fixed Wirelless Access* (FWA), satelit, *powerline* dan *mobile broadband*, Indonesia menduduki peringkat ke 3 dalam jajaran 10 negara dengan tingkat pertumbuhan permintaan *broadband* tertinggi pada kuartal ke 3 tahun 2007 [47]. Gambar 1.1 menunjukkan tingkat pertumbuhan *broadband* dari negara-negara yang dimaksud.

Tampak pada Gambar 1.1 bahwa Indonesia menempati urutan ke 3 dengan tingkat pertumbuhan per kuartal sebesar 24.21%, dibawah Vietnam dan Mesir masing-masing sebesar 24.97% dan 24.95%. Walaupun tingkat pertumbuhan *broadband* di Indonesia cukup tinggi dan bahkan hampir menyamai Vietnam, bila dibandingkan dari sisi jumlah pelanggan, Indonesia akan kalah jauh dengan Vietnam dimana jumlah pelanggan *broadband* di Vietnam berjumlah 829,000 pada kuartal 2 tahun 2007 menjadi 1,036,000 pada kuartal 3 tahun 2007 sementara pelanggan di Indonesia hanya naik dari 173,500 menjadi 215,500 pada kuartal 3 tahun 2007.



Gambar 1.1 Negara dengan Pertumbuhan *Broadband* Tertinggi per Kuartal 3 Tahun 2007 [47]

Pada Gambar 1.2 ditunjukkan negara dengan pertumbuhan *broadband* tertinggi antara kuartal 3 tahun 2006 sampai kuartal 3 tahun 2007. Sama seperti pada Gambar 1.1, grafik berikut hanya menyertakan negara dengan 100,000 atau lebih sambungan pada akhir kuartal 3 tahun 2007.

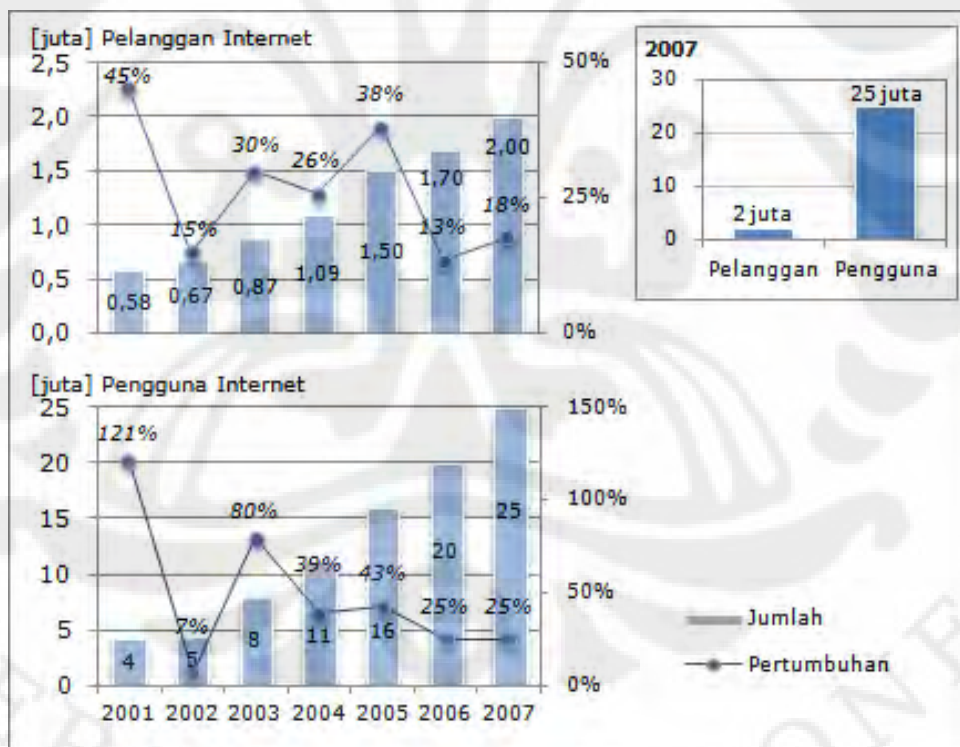


Gambar 1.2 Negara dengan Pertumbuhan *Broadband* Tertinggi Tahun 2006-2007 [47]

Tampak jelas pada Gambar 1.2 bahwa Indonesia menempati urutan pertama pada jajaran 10 negara dengan pertumbuhan *broadband* tertinggi antara tahun 2006 sampai 2007 dengan pertumbuhan sebesar 201.93%. Selama 12 bulan

sampai akhir September 2007, pelanggan baru *broadband* di Indonesia bertambah sebesar 144,126 sehingga total pelanggan menjadi 215,500. Sementara, Vietnam di peringkat kedua dengan pertumbuhan tahunan 172.24% yang berarti terjadi penambahan pelanggan baru *broadband* sebanyak 655,450 dalam setahun.

Data ITU tahun 2008 menunjukkan bahwa jumlah pelanggan *broadband* di Indonesia mencapai 400,000 pelanggan yang berarti penetrasi *broadband* hanya 0.81 pelanggan *broadband* per 100 penduduk [24]. Nilai penetrasi tersebut sangatlah kecil bila dibandingkan bahkan hanya dengan rata-rata penetrasi *broadband* dunia, yaitu sebesar 6.1 pelanggan *broadband* per 100 penduduk [24]. Hal tersebut menunjukkan urgensi untuk segera dibangunnya layanan *broadband* yang lebih merata di Indonesia. Hal ini diperkuat oleh peningkatan jumlah pelanggan dan pengguna internet di Indonesia yang cukup tinggi dari tahun ke tahun seperti disajikan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Pengguna dan Pelanggan Internet di Indonesia [11]

Pemerintah Indonesia sendiri melalui kerjasama antara Departemen Komunikasi dan Informatika dan Investor Group Againsts Digital Divide (IGADD) telah mendukung percepatan penetrasi *broadband* di Indonesia,

sehingga 20% individu atau sekitar 50 juta orang, dan juga institusi dapat memanfaatkan konektivitas internet berkecepatan tinggi pada 2012 [25]. Kerjasama tersebut menargetkan tingkat penetrasi akses internet pita lebar (*broadband*) di Indonesia akan meningkat dari sekitar 1% menjadi 20% pada 2012, dan upaya tersebut tidak hanya berkisar pada percepatan penetrasi saja tetapi juga terkait tarif yang terjangkau dan pemerataan akses.

Yang menjadi faktor pendorong dikembangkannya *broadband* di Indonesia antara lain [40]:

1. Untuk Pemerintah:

- *Broadband* dilihat sebagai infrastruktur penting untuk mencapai tujuan-tujuan pemerintah di bidang sosio-ekonomi.
- Untuk mendorong penyediaan layanan publik seperti *E-governance*, *E-learning*, *Tele-medicine*.

2. Untuk Penyelenggara Jaringan / Jasa Telekomunikasi :

- Suatu pilihan untuk mengurangi penurunan pendapatan dari teknologi lama (POTS/PSTN).
- Potensi tambahan pendapatan dari Layanan Nilai Tambah.
- Potensi penambahan secara eksponensial dalam ARPU.

3. Untuk Konsumen :

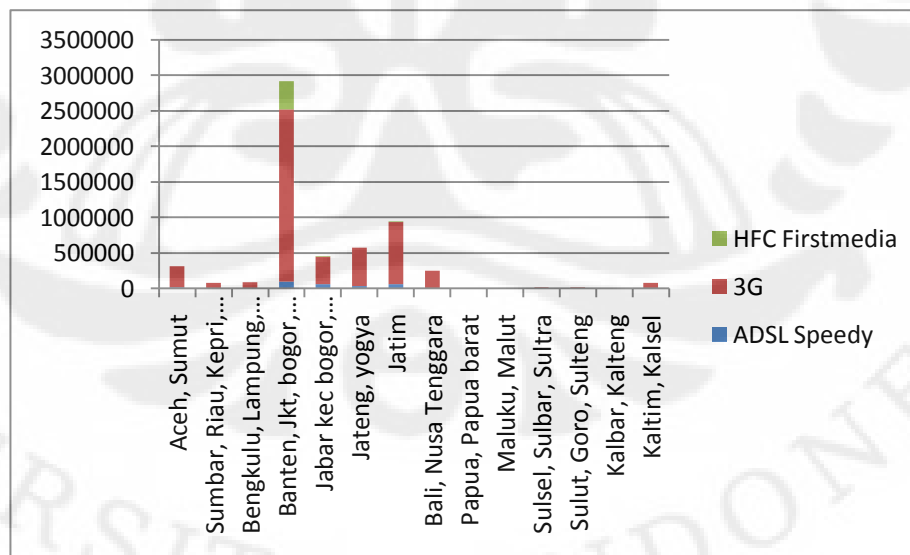
- Tersedianya rentang aplikasi yang lebih banyak dan lebih kaya.
- Akses yang lebih cepat terhadap informasi.
- Layanan yang semakin mengarah konvergensi (*VOIP*, *Video on Demand*).

Akan tetapi, di negara-negara berkembang yang masih dalam tahap awal dalam pengembangan TIK seperti Indonesia, penyediaan layanan *broadband* melalui sambungan optik atau kabel untuk menjangkau seluruh daerah sampai ke pelosok bukanlah hal yang mudah mengingat bahwa kondisi infrastruktur di Indonesia masih sangat buruk. Adapun permasalahan yang dihadapi pemerintah

Indonesia dalam penyediaan layanan *broadband* ialah berkenaan dengan masalah infrastruktur, antara lain:

1. Kesenjangan konektivitas, beberapa daerah mempunyai infrastruktur memadai sementara masih banyak daerah yang lain jauh tertinggal.
2. Persaingan usaha yang belum fair
3. Akses terhadap fasilitas infrastruktur esensial dibatasi
4. Interkoneksi terbatas
5. Duplikasi pembangunan infrastruktur (sangat tidak efisien)
6. Keterlambatan operator di Indonesia menyediakan media wireline untuk menyediakan akses *broadband*

Di negara maju, akses *broadband* umumnya bertumpu pada teknologi xDSL (pengembangan PSTN) dan HFC (pengembangan TV kabel). Seharusnya operator di Indonesia dapat dengan segera melakukan pemutakhiran teknologi untuk menyediakan layanan *broadband*, namun karena berbagai kendala seperti yang telah disebutkan, fakta menunjukkan bahwa justru layanan *mobile broadband* (3G) yang menunjukkan sebaran dan jumlah pelanggan yang signifikan, seperti tampak pada Gambar 1.4:



Gambar 1.4 Market Share Penyelenggara *Broadband* di Indonesia (akhir 2007) [10]

Tampak jelas bahwa teknologi *wireless broadband* memiliki potensi untuk meningkatkan penetrasi *broadband* di wilayah dengan kendala infrastruktur yang cukup besar seperti Indonesia.

1.1.3 Tinjauan Kebutuhan Spektrum *Mobile Broadband*

Penerapan *mobile broadband* dapat mengatasi masalah yang berkenaan dengan infrastruktur yang kurang memadai seperti yang biasa dialami di negara-negara yang kurang berkembang namun dengan pertumbuhan yang relatif cepat [20]. Seperti halnya *fixed broadband access*, *mobile broadband* dapat merangsang pengembangan kewirausahaan dan ekonomi baik secara lokal maupun global. Layanan *mobile broadband* memungkinkan terciptanya kesempatan sosial dan akses terhadap informasi yang lebih luas melalui akses yang universal terhadap berbagai layanan semisal *e-Government*, *mobile Learning*, dan *e-Health*.

Namun demikian, seiring dengan berjalannya waktu, akan terjadi peningkatan permintaan dan ekspektasi masyarakat terhadap layanan *mobile broadband* yang akan berdampak pada permintaan terhadap peningkatan kapasitas jaringan *mobile broadband*. Sumber daya yang paling krusial untuk dipersiapkan sebagai langkah antisipasi terhadap permintaan peningkatan kapasitas jaringan *mobile broadband* adalah kanal frekuensi yang akan dipakai untuk layanan *mobile broadband*, mengingat spektrum frekuensi radio merupakan sumber daya yang sangat berharga dan ketersediannya terbatas sehingga penggunaannya harus ditata dengan cermat.

Dengan melakukan analisis dan perkiraan dengan tepat terhadap kebutuhan spektrum frekuensi untuk layanan *mobile broadband* di Indonesia untuk beberapa tahun mendatang, implementasi *mobile broadband* diharapkan dapat berjalan tanpa adanya hambatan terkait dengan keterbatasan sumber daya spektrum frekuensi. Dengan demikian, harapan akan percepatan pertumbuhan faktor sosial-ekonomi di Indonesia dengan bantuan kontribusi layanan *mobile broadband* dapat segera terwujud.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan meningkatnya adopsi masyarakat terhadap layanan *mobile broadband* yang didukung oleh penerapan standar teknologi *mobile broadband* masa depan (Beyond IMT-2000) yang menuntut *user experience* yang semakin tinggi, akan dibutuhkan peningkatan kapasitas jaringan yang pada akhirnya akan menuntut penambahan spektrum frekuensi dari spektrum yang telah dialokasikan pemerintah untuk layanan BWA saat ini. Untuk mengantisipasi pemenuhan kebutuhan tersebut, diperlukan suatu perkiraan yang cermat mengenai lebar spektrum yang harus tersedia sampai beberapa tahun ke depan.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai penulis dalam tulisan ini adalah memperkirakan kebutuhan spektrum di masa mendatang dengan melakukan perhitungan dan analisis lebar spektrum frekuensi yang harus dipersiapkan untuk mencukupi kebutuhan sumber daya spektrum frekuensi radio untuk implementasi *mobile broadband (beyond IMT-2000)* di Indonesia.

1.4 Batasan Masalah

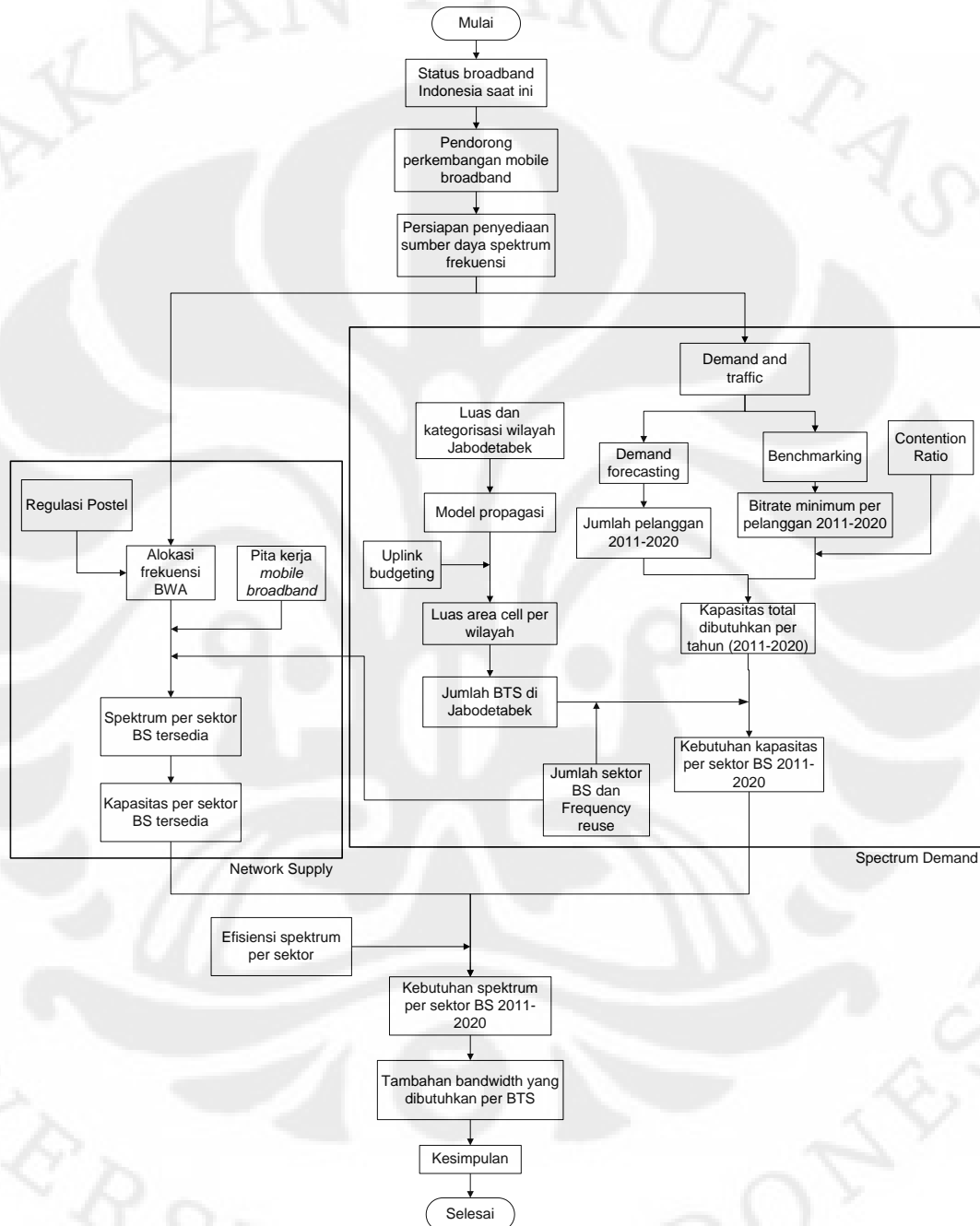
Dalam tulisan ini, perkiraan kebutuhan spektrum frekuensi radio dibatasi hanya sampai tahun 2020 dengan sampel penelitian wilayah Jabodetabek yang merepresentasikan wilayah terpadat di Indonesia sehingga dengan sendirinya kebutuhan spektrum di wilayah lain akan tercukupi bila kebutuhan di wilayah Jabodetabek sendiri telah tercukupi. Teknologi *mobile broadband* yang dikaji dalam tulisan ini adalah 3GPP Long Term Evolution (LTE) dan mobile WiMAX yang merupakan standar *mobile broadband* di atas IMT-2000 (*beyond IMT-2000*).

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Studi literatur, yaitu mempelajari metode-metode yang harus dilakukan dalam perkiraan kebutuhan spektrum frekuensi

2. Perhitungan dan analisis, yaitu perhitungan dan analisis terhadap parameter-parameter yang diperlukan dalam perkiraan kebutuhan spektrum frekuensi. Berikut perinciannya:



Gambar 1.5 Flowchart Perkiraan Kebutuhan Spektrum *Mobile Broadband*

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini sistematika penulisan buku tugas akhir ini:

1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang masalah, perumusan, tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan

2. BAB 2 TEKNOLOGI *MOBILE BROADBAND*

Bagian ini berisi penjelasan umum seputar *mobile broadband*, teknologi *mobile broadband* yang ada beserta karakteristiknya, dan teknologi kunci yang diterapkan *mobile broadband* (beyond IMT-2000)

3. BAB 3 *NETWORK DIMENSIONING*

Bagian ini berisi model dan metodologi perhitungan parameter-parameter yang diperlukan untuk memperkirakan kebutuhan spektrum antara lain: tinjauan *network supply*, yaitu alokasi spektrum oleh pemerintah, serta metode-metode perhitungan berkenaan dengan perkiraan penambahan spektrum yang mencakup *demand forecasting*, kebutuhan kapasitas jaringan, perhitungan jumlah *Base Station*, dan kapasitas per *Base Station*

4. BAB 4 PERKIRAAN DAN ANALISIS KEBUTUHAN SPEKTRUM

Bagian ini berisi perhitungan dan analisis kebutuhan jaringan berdasarkan model dan metodologi pada BAB 3 serta perhitungan kebutuhan spektrum untuk implementasi *mobile broadband* sampai tahun 2020.

5. BAB 5 KESIMPULAN

Bagian ini berisi kesimpulan akhir dari yang didapat serangkaian pembahasan dan analisis yang telah dilakukan

BAB 2

TEKNOLOGI *MOBILE BROADBAND*

2.1 Long Term Evolution

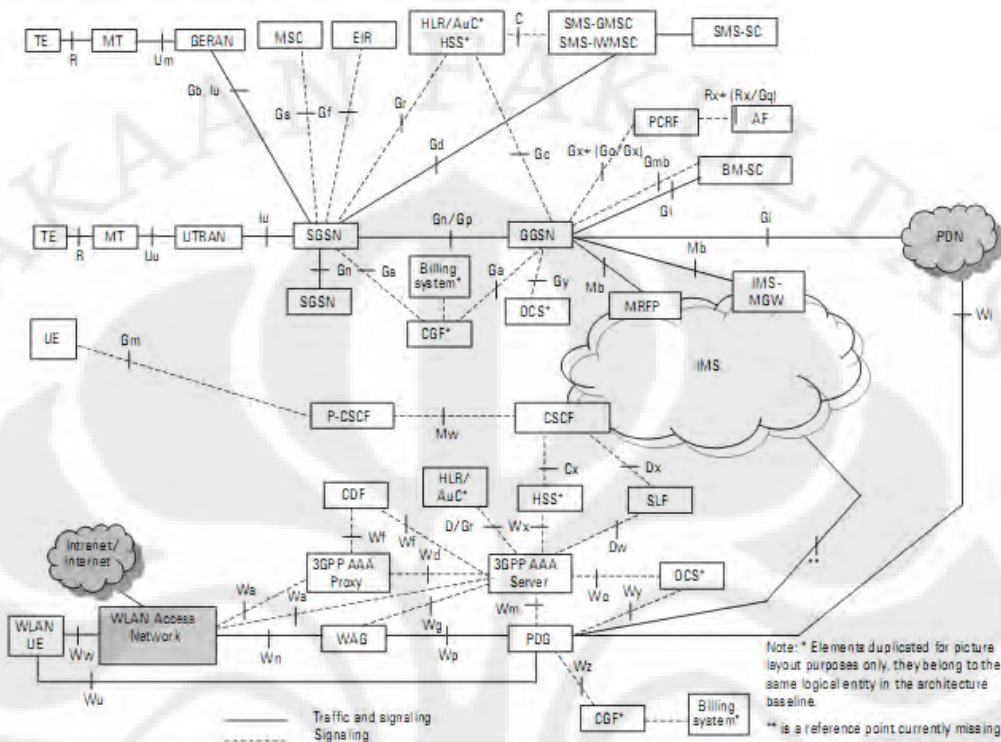
Long Term Evolution (LTE) merupakan kelanjutan terkini dari pengembangan teknologi HSPA oleh Third Generation Partnership Project (3GPP). Evolusi teknologi menuju LTE menawarkan peningkatan kemampuan jaringan yang signifikan dalam hal data *throughput* pada *mobile* terminal, sehingga memberikan layanan *mobile broadband* yang jauh lebih baik. Adapun tujuan utama dari evolusi teknologi ini adalah untuk menyediakan layanan *mobile* dengan kualitas minimum sama dengan *fixed broadband access* saat ini, serta mengurangi pengeluaran operasional dengan penggunaan arsitektur *flat IP*.

2.1.1 Arsitektur LTE

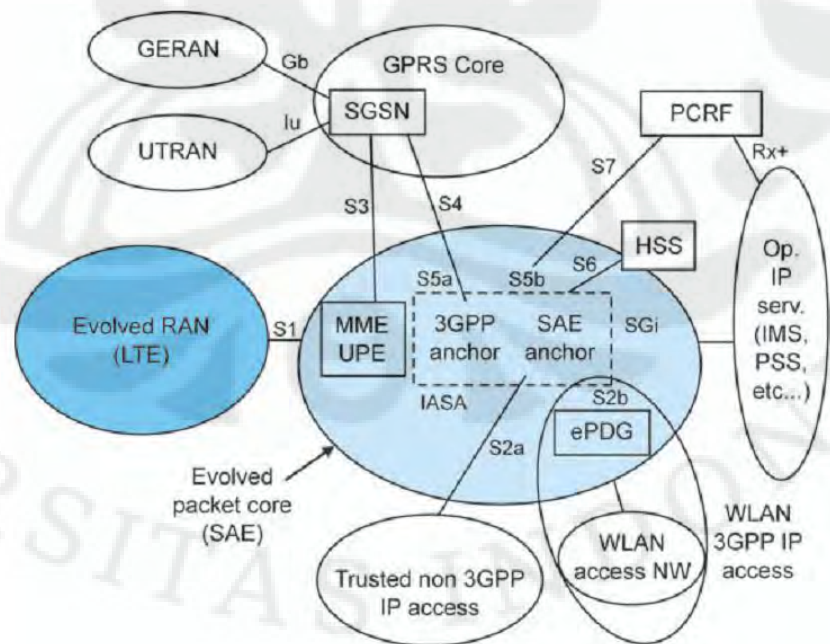
Implementasi LTE bergantung pada suatu jaringan inti yang bersifat *all-IP* yang disebut EPC (*Evolved Packet Core*). EPC juga dapat mendukung jaringan akses radio 3GPP sebelumnya (UTRAN dan GERAN) maupun teknologi non 3GPP (cdma2000, 802.16, dan lain sebagainya). Walaupun demikian, implementasi arsitektur EPC dirancang sedemikian rupa sehingga implementasinya tidaklah serumit arsitektur 2G dan 3G saat ini. Sebagai perbandingan disajikan ilustrasi arsitektur 3G pada Gambar 2.1 dan arsitektur *evolved system* (LTE *evolved* RAN dan EPC) pada Gambar 2.2.

LTE RAN (*Radio Access Network*) sangatlah sederhana, seperti disajikan pada Gambar 2.3. Tampak bahwa E-UTRAN (*Evolved-UTRAN*) memiliki elemen jaringan baru yang disebut eNB (*evolved Node B*) yang dapat melakukan terminasi protokol *user plane* dan *control plane* menuju UE (*User Equipment*). *Interface* baru yang disebut X2 menghubungkan eNB yang ada sebagai jaringan *mesh*, sehingga memungkinkan komunikasi langsung antar elemen dan menghilangkan fungsi pengiriman data via *radio network controller* (RNC). E-UTRAN terhubung dengan EPC via *interface* S1, yang menghubungkan eNB

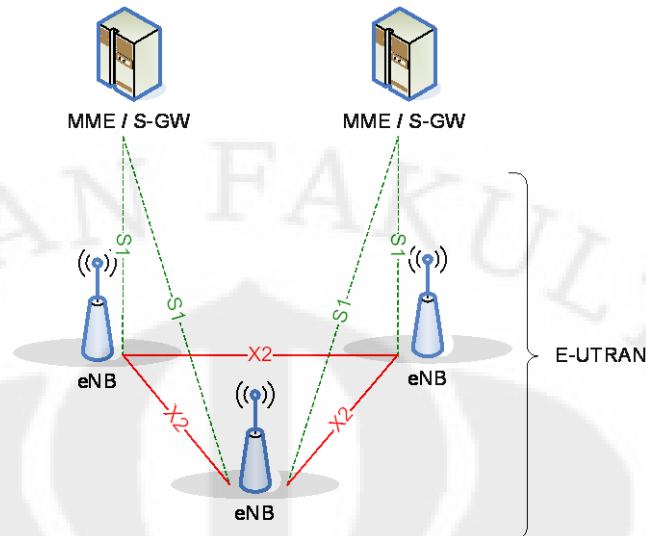
dengan mobility management entity (MME) dan serving gateway (S-GW) melalui relasi “many-to-many”.



Gambar 2.1 Arsitektur 3G [6]

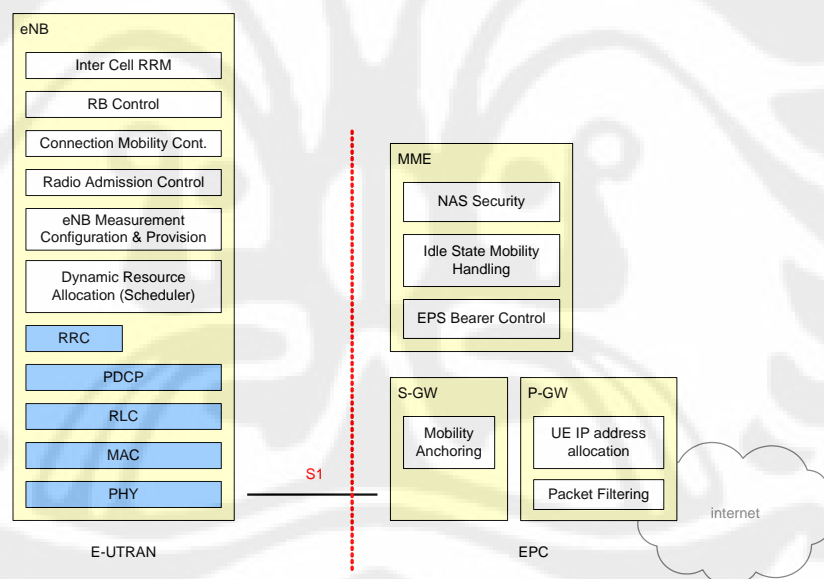


Gambar 2.2 Arsitektur Evolved System [6]



Gambar 2.3 Arsitektur LTE dengan E-UTRAN [1]

Pada Gambar 2.4 disajikan ilustrasi pemisahan fungsi antara E-UTRAN dan EPC dalam EPS.



Gambar 2.4 Pemisahan Fungsi antara E-UTRAN dan EPC [1]

Secara spesifik, fungsi eNB antara lain:

- *Radio resource management*
- Enkripsi dan kompresi IP *header*
- Seleksi MME saat penyambungan UE
- *Routing user plane data* menuju S-GW

- Penjadwalan dan transmisi *paging message* dan *broadcast information*
- Konfigurasi pengukuran dan pelaporan pengukuran untuk *mobility* dan *scheduling*
- Penjadwalan dan transmisi *ETWS message*

Fungsi MME antara lain:

- *Non-access stratum (NAS) signaling* dan *NAS signaling security*
- *Access stratum (AS) security control*
- Penanganan *idle state mobility*
- *EPS bearer control*

Fungsi S-GW antara lain:

- *Mobility anchor point* untuk handover antar eNB
- Terminasi *user plane packet* untuk keperluan *paging*
- *Switching user plane* untuk *mobility UE*

Packet data network (PDN) gateway (P-GW) berfungsi untuk:

- Alokasi alamat IP UE
- Filtering paket berbasis *per-user*
- Penghadangan

2.1.2 Performa dan Karakteristik LTE

Berikut ini rangkuman karakteristik dan performa LTE [8]:

1. *Peak throughput*

- DL: 100 Mb/s SISO (*Single Input Single Output*);
- 173 Mb/s 2x2 MIMO (*Multiple Input Multiple Output*);
- 326 Mb/s 4x4 MIMO; untuk *bandwidth* 20 MHz
- UL: 58 Mb/s 16 QAM
- 86 Mb/s 64 QAM (pada 1 Tx UE)

2. Peningkatan efisiensi spectrum relatif terhadap Release 6 HSPA

- DL: 3-4 kali HSDPA untuk MIMO (2,2)
- UL: 2-3 kali E-DCH untuk MIMO(1,2)

3. Latency

- Kurang dari 10 ms untuk *round-trip delay* (RTD) dari UE ke server
- Waktu *call setup* kecil (50-100ms)

4. Kapasitas per sel

- 200 user untuk 5 MHz, 400 user untuk alokasi spectrum yang lebih lebar

5. Penggunaan spektrum

- Lebar kanal 1.4 MHz, 3/3.2 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz
- Seluruh frekuensi pada IMT-2000: 450 MHz sampai 2.6 GHz

2.1.3 Frekuensi Kerja LTE

Pita frekuensi yang telah diidentifikasi oleh 3GPP untuk implementasi LTE tersaji pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Frekuensi Kerja LTE [3]

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) BS receive UE transmit		Downlink (DL) BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F _{UL_low}	F _{UL_high}	F _{DL_low}	F _{DL_high}	
1	1920 MHz	1980 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	1910 MHz	1930 MHz	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	1785 MHz	1805 MHz	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	1755 MHz	2110 MHz	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	849 MHz	869 MHz	894 MHz	FDD
6	830 MHz	840 MHz	875 MHz	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	2570 MHz	2620 MHz	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	915 MHz	925 MHz	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	1784.9 MHz	1844.9 MHz	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	1770 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	1452.9 MHz	1475.9 MHz	1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz	716 MHz	728 MHz	746 MHz	FDD

13	777 MHz	–	787 MHz	746 MHz	–	756 MHz	FDD
14	788 MHz	–	798 MHz	758 MHz	–	768 MHz	FDD
15	<i>Reserved</i>			<i>Reserved</i>			FDD
16	<i>Reserved</i>			<i>Reserved</i>			FDD
17	704 MHz	–	716 MHz	734 MHz	–	746 MHz	FDD
18	815 MHz	–	830 MHz	860 MHz	–	875 MHz	FDD
19	830 MHz	–	845 MHz	875 MHz	–	890 MHz	FDD
...							
33	1900 MHz	–	1920 MHz	1900 MHz	–	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	–	2025 MHz	2010 MHz	–	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	–	1910 MHz	1850 MHz	–	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	–	1990 MHz	1930 MHz	–	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	–	1930 MHz	1910 MHz	–	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	–	2620 MHz	2570 MHz	–	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	–	1920 MHz	1880 MHz	–	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	–	2400 MHz	2300 MHz	–	2400 MHz	TDD

(sambungan **Tabel 2.1**)

2.2 Mobile WiMAX

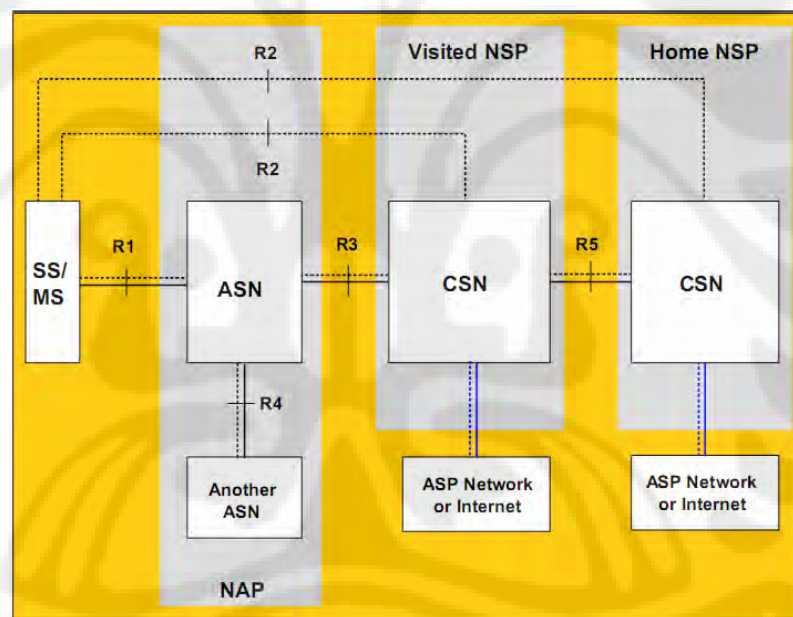
Mobile WiMAX (802.16e) merupakan solusi *broadband* nirkabel yang memungkinkan konvergensi antara jaringan *fixed* maupun *mobile broadband* melalui sebuah teknologi akses radio yang luas dan umum serta arsitektur jaringan yang fleksibel. Mobile WiMAX *System Profile* memungkinkan sistem *mobile* untuk dikonfigurasi berdasarkan fitur-fitur dasar sehingga menjamin fungsi-fungsi dasar *terminal* dan *base station* yang *interoperable*.

2.2.1 Arsitektur Mobile WiMAX

Mobile WiMAX menerapkan *End-to-End Network Architecture* yang berbasis pada sebuah *All-IP platform*, yaitu teknologi paket secara keseluruhan tanpa adanya sirkuit telepon generasi sebelumnya. Gambar 2.5 menyajikan ilustrasi *WiMAX Network Reference Model (NRM)*, yaitu representasi logikal dari arsitektur jaringan. NRM terdiri dari entitas logikal berikut: *Mobile Station (MS)*, *Access Service Network (ASN)*, dan *Connectivity Service Network (CSN)* dan *reference point* yang dikenali untuk interkoneksi dengan entitas logikal. Setiap entitas mewakili sekelompok entitas fungsi. Setiap fungsi ini dapat termanifestasi pada sebuah perangkat fisik maupun terdistribusi pada beberapa

perangkat fisik. Tujuan dari NRM adalah untuk memungkinkan berbagai pilihan implementasi untuk entitas fungsional yang ada, namun diharapkan tetap dapat mencapai *interoperability* antar penerapan entitas fungsional yang berbeda.

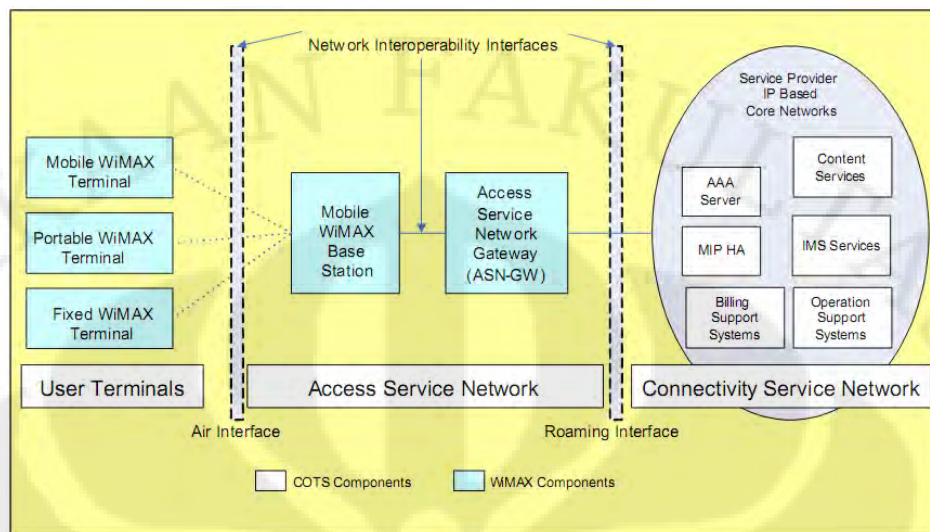
ASN menentukan batasan logikal dan mewakili agregasi entitas fungsional dan *message flow* yang bersesuaian, berkenaan dengan *access service*. ASN juga mewakili batasan *interoperability* fungsional dengan WiMAX *client*, fungsi layanan konektivitas WiMAX dan agregasi dari fungsi-fungsi yang dibuat oleh *vendor* yang berbeda. Pemetaan entitas fungsional seperti tergambar pada NRM dapat dilakukan dengan berbagai cara. WiMAX Forum saat ini sedang dalam proses spesifikasi jaringan dengan tujuan untuk memungkinkan berbagai implementasi vendor dapat saling *interoperable* dan cocok untuk berbagai macam kebutuhan penggelaran.



Gambar 2.5 Reference Model Jaringan WiMAX [48]

CSN didefinisikan sebagai sekelompok fungsi jaringan yang menyediakan layanan konektivitas IP kepada pelanggan WiMAX. Suatu CSN dapat terdiri dari elemen jaringan seperti *router*, AAA proxy/server, *user database* dan perangkat interworking gateway. CSN dapat diterapkan sebagai *Greenfield WiMAX Network Service Provider* (NSP) maupun sebagai bagian WiMAX NSP yang sudah ada.

Pada Gambar 2.6 disajikan ilustrasi entitas-entitas dalam kelompok fungsional pada ASN dan CSN.



Gambar 2.6 Arsitektur Jaringan WiMAX Berbasis IP [48]

2.2.2 Performa dan Karakteristik Mobile WiMAX

Berikut ini karakteristik dan performa teknologi mobile WiMAX [48]:

1. Peak Throughput:

- 175 Mbps (asumsi 2x2 MIMO, 1/1 code rate, kanal 20 MHz dan 64QAM)
- 145Mbps (asumsi 2x2 MIMO, 5/6 code rate, kanal 20 MHz dan 64QAM)
- 350 Mbps (4x2 MIMO, 1/1 coding, 20 MHz at 64QAM)
- Target mobilitas sampai 350 km/h

2. Latency

- *Airlink roundtrip latency* kurang dari 60 ms

3. Spektrum

- Lebar kanal 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz
- 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz

2.2.3 Frekuensi Kerja Mobile WiMAX

Pada Tabel 2.2 disajikan spektrum ferkuensi yang dapat digunakan untuk implementasi WiMAX

Tabel 2.2 Frekuensi Kerja Mobile WiMAX [4]

Frekuensi	Duplex mode
2.3 GHz	TDD
2.5 GHz	TDD
3.3 GHz	TDD
3.5 GHz	TDD
5.8 GHz	TDD

telah diolah kembali

2.3 Teknologi Kunci pada LTE dan Mobile WiMAX

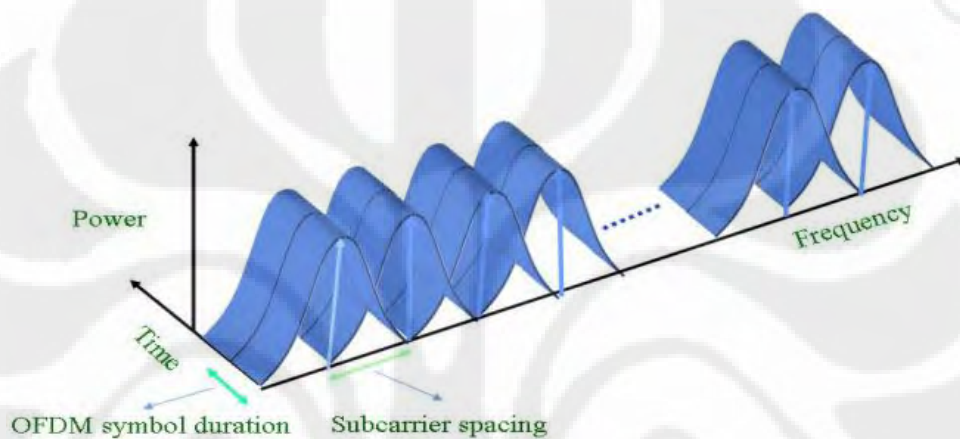
Untuk mencapai karakteristik yang sedemikian, LTE dan mobile WiMAX menerapkan beberapa teknologi kunci termutakhir, antara lain:

1. *Orthogonal Frequency* Division Multiple Access (OFDMA)

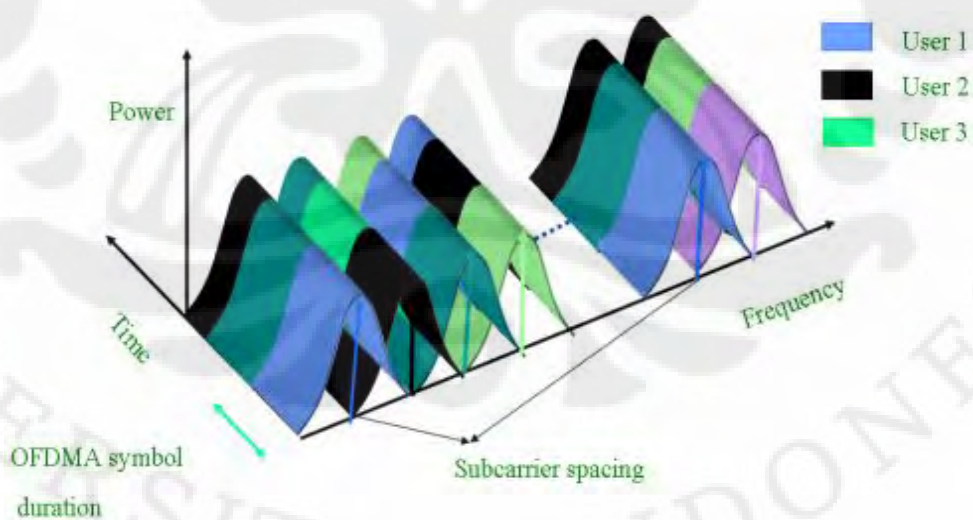
Pada LTE teknologi OFDMA digunakan pada *downlink* sementara pada mobile WiMAX teknologi ini digunakan baik pada *downlink* maupun *uplink*. Pada dasarnya, OFDMA merupakan pengembangan dari teknologi *Orthogonal Frequency* Division Multiplexing (OFDM). Prinsip OFDM adalah penggunaan *subcarrier* yang *orthogonal* satu sama lain untuk mengirimkan beberapa *data symbol* secara paralel, sehingga menghasilkan penggunaan spektrum yang lebih efisien dan metoda ekualisasi yang lebih sederhana pada *receiver*. Sampel dari sinyal OFDM yang ditransmisikan bisa didapat dengan melakukan operasi IFFT pada group data symbol yang akan dikirimkan melalui *orthogonal subcarrier*. Demikian halnya dengan *recovery data symbol* dari *orthogonal subcarrier* yang dapat dilakukan dengan menggunakan operasi FFT pada blok sampel yang diterima. Gambar 2.4 menunjukkan sinyal OFDM:

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa meskipun *subcarrier* saling tumpang tindih (*overlap*) pada domain waktu dan frekuensi, tidak terjadi mutual interference jika sampling dilakukan pada titik tertentu pada domain frekuensi yang disebut sebagai *subcarrier position*. Hal tersebut

membuat efisiensi spektrum system OFDM lebih tinggi daripada system *Frequency Division Multiplexing* (FDM). Yang menjadi perhatian pada domain waktu dan frekuensi antara lain *symbol period*, dan *subcarrier spacing*. Sebagai tambahan, *cyclic prefix* ditambahkan pada OFDM *symbol* sebagai pelindung terhadap interferensi di antara OFDM *symbol* dan mengantisipasi *loss* dari *orthogonality* akibat *multipath channel*. Pemilihan nilai parameter-parameter tersebut didasarkan pada kondisi *channel*, kebutuhan efisiensi, *hardware* dan kemampuan algoritma.



Gambar 2.7 Sinyal OFDM [38]



Gambar 2.8 Sinyal OFDMA [38]

Pada system OFDMA, baik sumber daya waktu maupun frekuensi digunakan untuk memisahkan sinyal yang digunakan *multiple user*. *Group OFDM symbol* dan atau *group subcarrier* merupakan unit yang digunakan untuk memisahkan transmisi dari atau ke *multiple user*. Pada Gambar 2.8, ditunjukkan sinyal OFDMA secara umum dengan contoh *user* sebanyak 3 *user*.

Dapat dilihat bahwa sinyal dipisahkan satu sama lain dalam domain waktu dengan menggunakan OFDM symbol yang berbeda dan atau dalam domain *subcarrier*. Dengan demikian, baik sumber daya waktu maupun frekuensi secara bersamaan dimanfaatkan untuk *multiuser transmission*.

2. Single Carrier *Frequency* Division Multiple Access (SC-FDMA)

Pada LTE, SC-FDMA digunakan pada *uplink*. SC-FDMA merupakan modifikasi dari OFDMA. Seperti pada OFDMA, *transmitter* pada sistem SC-FDMA menggunakan *orthogonal subcarrier* untuk mentransmisikan *information symbol*. Yang membedakan adalah bahwa *subcarrier* ditransmisikan secara berurutan (*sequential*), tidak seperti pada *subcarrier* OFDMA yang ditransmisikan secara paralel. Hal ini akan mengurangi fluktuasi *envelope* pada bentuk gelombang yang ditransmisikan. Dengan demikian, secara intrinsic sinyal SC-FDMA memiliki *peak-to-average power ratio* yang lebih rendah daripada sinyal OFDMA.

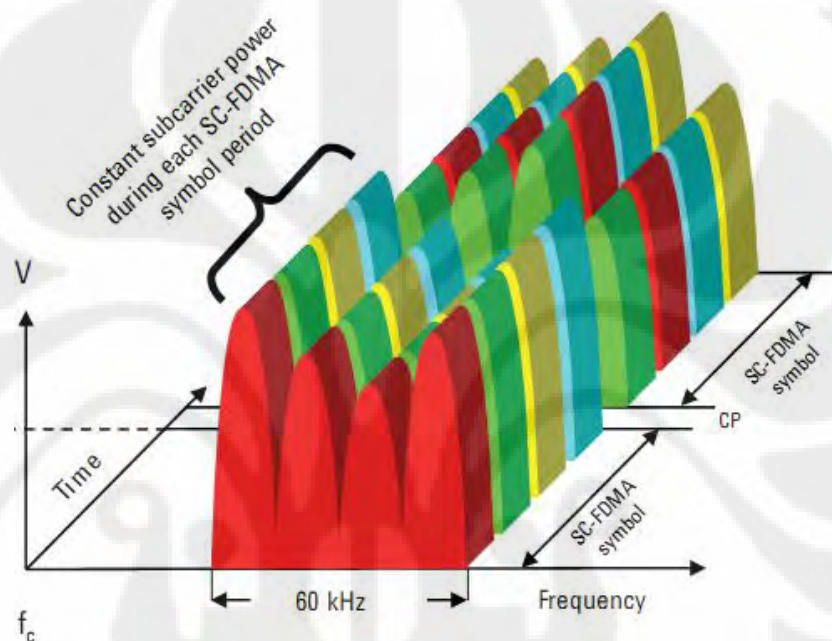
Transmitter system SC-FDMA mengubah sinyal input biner menjadi urutan *subcarrier* termodulasi. Pemrosesan sinyal pada SC-FDMA memiliki banyak kesamaan dengan pemrosesan sinyal pada OFDMA, namun pada SC-FDMA digunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT) untuk *transmitter* dan Inverse DFT untuk *receiver*.

3. Multiple Input Multiple Output (MIMO)

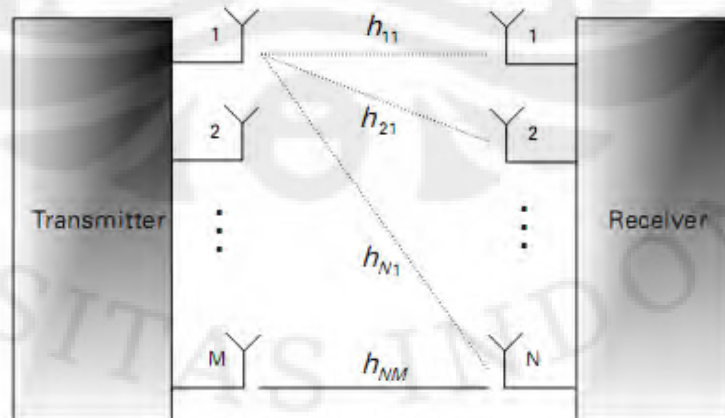
MIMO adalah teknologi *spatial multiplexing* yang memungkinkan pentransmisian *multiple data* secara bersamaan dengan menggunakan

multiple antenna baik pada sisi *transmitter* maupun *receiver*. Penggunaan MIMO pada sistem LTE bertujuan untuk meningkatkan *peak data rates* dan kapasitas sel. Berikut ini ilustrasi dari sebuah system MIMO ($N \times M$):

Suatu kanal MIMO terdiri atas *channel gain* dan *phase information* untuk link dari setiap antenna transmisi ke setiap antenna penerima. Kanal $N \times M$ MIMO terdiri dari matriks $H_{N \times M}$ seperti pada persamaan (2.1)



Gambar 2.9 Sinyal SC-FDMA [6]



Gambar 2.10 Skema Sistem MIMO [26]

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2M} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \cdots & h_{NM} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Dimana h_{NM} merepresentasikan *channel gain* dari antenna pengirim M ke antenna penerima N . Untuk memperkirakan elemen matriks kanal MIMO, *signal reference* atau pilot dikirimkan secara terpisah dari setiap antenna *transmitter*.

Pada system MIMO, data independen ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_M$) dikirimkan secara simultan oleh antenna yang berbeda pada pita frekuensi yang sama. Misalkan, dengan menggunakan N antena penerima, sinyal yang diterima adalah:

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + \cdots + h_{1N}x_M \\ r_2 &= h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + \cdots + h_{2N}x_M \\ &\vdots \\ r_N &= h_{N1}x_1 + h_{N2}x_2 + \cdots + h_{NM}x_M \end{aligned} \quad (2.2)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa tiap sinyal independen dalam proses pentransmisiannya dikombinasikan secara keseluruhan. Sebenarnya, kombinasi sinyal tersebut dapat dianggap sebagai interferensi, namun dengan memperlakukan kanal sebagai suatu matriks, sinyal independen (x_N) dapat diperoleh kembali oleh penerima. Untuk memperoleh sinyal independen dari sinyal yang diterima (r_M), tiap bobot channel h_{NM} harus diperkirakan terlebih dahulu yang akan membentuk matriks kanal H . Vektor r kemudian dikalikan dengan *inverse* H untuk mendapatkan kembali vektor x .

Dengan dikirimkannya *multiple data* secara paralel dari antena yang berbeda, maka akan terjadi peningkatan throughput tanpa perlu menambah *bandwidth*, karena MIMO memanfaatkan dimensi spasial dengan menambah jumlah jalur spasial antara *transmitter* dan *receiver*.

BAB 3

NETWORK DIMENSIONING

Network dimensioning (pendimensionan jaringan) merupakan langkah penting yang harus dilakukan untuk memperkirakan *coverage* dan kapasitas jaringan LTE maupun mobile WiMAX. Dengan melakukan pendimensionan jaringan maka akan diketahui kebutuhan infrastruktur jaringan.

3.1 Network Supply

Berdasarkan lampiran PERATURAN MENTERI KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA nomor 29/PER/M.KOMINFO/07/2009 tanggal 20 Juli 2009 mengenai Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia, berikut ini pita frekuensi yang telah dialokasikan pemerintah untuk layanan *wireless broadband*, IMT, dan IMT-2000 seluler:

Tabel 3.1 Alokasi Frekuensi IMT, IMT-2000 dan *Wireless Broadband* [16]

Frekuensi	Alokasi
287-294 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
310–324 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
1428–1452 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
1498–1522 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
890-915 MHz	IMT
935-960 MHz	IMT
1710-1785 MHz	IMT
1805-1880	IMT
1885–1980 MHz	IMT-2000
2010–2025 MHz	IMT-2000
2110–2170 MHz	IMT-2000
2053–2083 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
2300–2400 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
2500–2520 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
2670–2690 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
3300–3400 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
5725–5825 MHz	<i>Wireless Broadband</i>
10.154–10.294 GHz	<i>Wireless Broadband</i>
10.504–10.644 GHz	<i>Wireless Broadband</i>

telah diolah kembali

Tidak semua frekuensi yang telah dialokasikan tersebut dapat dipergunakan untuk implementasi teknologi LTE dan mobile WiMAX, berdasarkan berdasarkan frekuensi standar LTE pada Tabel 2.1, pada Tabel 3.2 disajikan daftar frekuensi yang telah dialokasikan yang dapat dipakai oleh teknologi LTE sementara untuk mobile WiMAX (berdasarkan frekuensi standar WiMAX pada Tabel 2.2) disajikan pada Tabel 3.3:

Tabel 3.2 Pita Frekuensi Potensial untuk Implementasi LTE

Frekuensi	<i>Bandwidth</i>	<i>Duplex Mode</i>	Pita E-UTRA	Arah
890-915 MHz	25 MHz	FDD	8	<i>Uplink</i>
935-960 MHz	25 MHz	FDD	8	<i>Downlink</i>
1710-1785 MHz	75 MHz	FDD	3	<i>Uplink</i>
1805-1880	75 MHz	FDD	3	<i>Downlink</i>
1885–1980 MHz	60 MHz	FDD	1	<i>Uplink</i>
2010–2025 MHz	15 MHz	TDD	34	<i>Uplink & downlink</i>
2110–2170 MHz	60 MHz	FDD	1	<i>Downlink</i>
2500–2520 MHz	15 MHz	FDD	7	<i>Uplink</i>
2670–2690 MHz	15 MHz	FDD	7	<i>Downlink</i>

Tabel 3.3 Pita Frekuensi Potensial untuk Implementasi mobile WiMAX

Frekuensi	<i>Bandwidth</i>	<i>Duplex Mode</i>	Arah
2300-2400 MHz	90 MHz	TDD	<i>Uplink & downlink</i>
2500–2520 MHz	15 MHz	TDD	<i>Uplink & downlink</i>
2670–2690 MHz	15 MHz	TDD	<i>Uplink & downlink</i>
3300-3400 MHz	90 MHz	TDD	<i>Uplink & downlink</i>

Dengan mempertimbangkan *paired spectrum* pada *duplex mode* FDD (*Frequency Division Duplex*), maka dari keseluruhan *bandwidth* LTE, *bandwidth* total efektif yang dapat digunakan untuk teknologi LTE di Indonesia berdasarkan Tabel 3.2 sebesar 190 MHz sementara *bandwidth* efektif untuk mobile WiMAX dengan keseluruhan *duplex mode* TDD berdasarkan Tabel 3.3 adalah 210 MHz.

3.2 Perkiraan Kapasitas Jaringan

3.2.1 Demand Forecasting

Demand forecasting (perkiraan *demand*) diperlukan untuk memperkirakan jumlah pelanggan *mobile broadband* di masa mendatang. Hal ini perlu dilakukan agar dapat diketahui kapasitas jaringan *mobile broadband* yang harus dipersiapkan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan yang tergambar pada hasil perkiraan *demand*. Untuk melakukan perkiraan *demand* digunakan *growth model* (model pertumbuhan). Model pertumbuhan digunakan secara luas pada penelitian kuantitatif untuk memahami dorongan yang mempengaruhi pertumbuhan dalam hubungannya dengan pergerakan pertumbuhan itu sendiri, kapasitas pasar, juga perkiraan pertumbuhan di masa mendatang [41]. Penggunaan model pertumbuhan akan dibahas pada sub-bab 3.2.1.2.

3.2.1.1 Potensi Demand Mobile Broadband

Langkah awal dalam perkiraan *demand* adalah menentukan potensi *demand mobile broadband*. Potensi *demand mobile broadband* dapat diperoleh dengan langkah sebagai berikut:

1. Mengecualikan penduduk yang berada di kawasan terpencil
2. Mengecualikan penduduk yang memiliki rentang usia 0 – 9 tahun dan di atas usia 70 tahun
3. Mengecualikan penduduk miskin (pra sejahtera)

Pada tulisan ini, data-data yang berkenaan dengan langkah-langkah tersebut diperoleh dari data BPS dan SUPAS.

3.2.1.2 Model Pertumbuhan Bass

Model adopsi terhadap teknologi baru yang digunakan dalam tulisan ini adalah model Bass. Model Bass adalah model terbaik yang dapat digunakan untuk mendeskripsikan awal mula dan perkembangan adopsi pasar terhadap produk baru [41]. Pada model Bass turut

diperhitungkan pengaruh *innovator* melalui koefisien inovasi p seperti tampak pada persamaan diferensial pertumbuhan (3.1) [41], sehingga model ini sangat cocok untuk memodelkan adopsi pasar sesaat/segera setelah produk baru diperkenalkan. Model ini memperhitungkan satu populasi pengadopsi M , yang terdiri dari *innovator* maupun *imitator*.

$$\frac{dB(t)}{dt} = qB(t) \left(1 - \frac{B(t)}{M}\right) + p(M - B(t)) \quad (3.1)$$

Solusi dari persamaan di atas menghasilkan model difusi Bass yang didefinisikan oleh empat parameter, antara lain kapasitas pasar M , koefisien inovasi p dengan $p > 0$, koefisien imitasi q dengan $q \geq 0$ dan titik waktu saat produk diperkenalkan t_s , $B(t_s)=0$ [41].

$$B(t; M, p, q, t_s) = M \frac{1 - e^{-(p+q)(t-t_s)}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)(t-t_s)}} \quad (3.2)$$

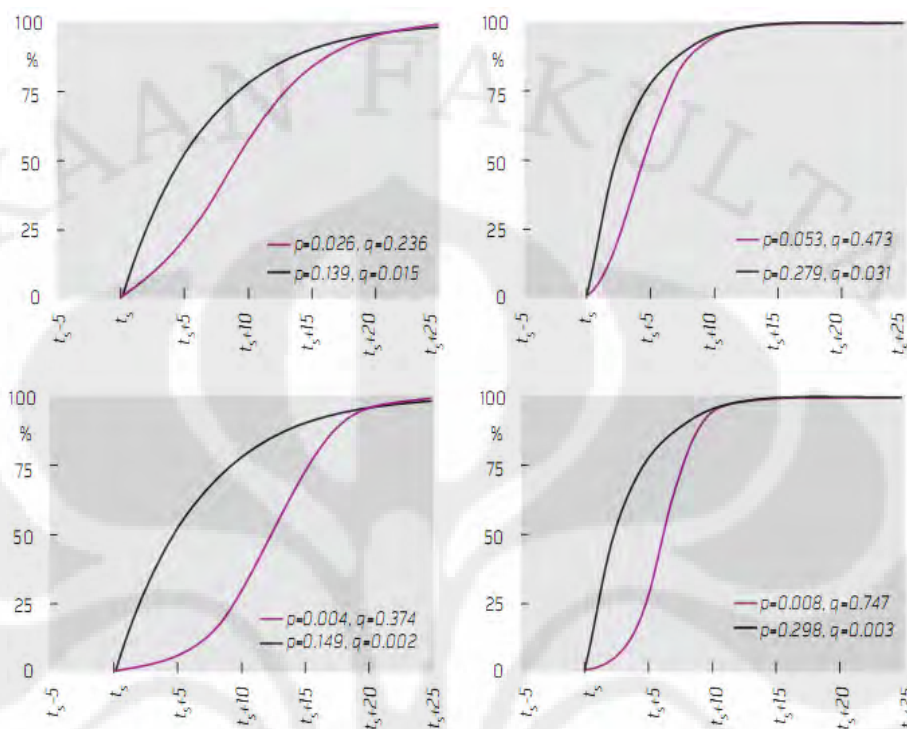
model Bass ini memiliki bentuk kurva S. Gambar 3.1 menunjukkan pengaruh nilai p dan q pada bentuk kurva S model Bass dengan nilai M dan t_s tetap.

3.2.1.3 Model Bass dengan Parameter Penjelas

Parameter M dan t_s bersifat deskriptif dan dapat dikaitkan secara langsung dengan kondisi pasar. Meskipun parameter p dan q memiliki fitur penjelas namun satu sama lain saling bergantung saat membentuk kurva S pada model Bass [41]. Dengan kata lain, nilai durasi karakteristik pada model Bass secara tidak langsung hanya bergantung pada nilai parameter p dan q seperti tampak pada Gambar 3.1. Parameter penjelas adalah parameter yang menggambarkan bentuk vertikal dari kurva S dan durasi karakteristik Δt .

Tingkat penetrasi yang diharapkan pada titik waktu $t_s + \Delta t$ adalah v . Parameter bentuk kurva S dipilih untuk membatasi hubungan antara amplitud bagian positif dan negatif dari kurva S. Asimtot model Bass adalah [41]:

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} B(t) = -\frac{p}{q} M \qquad \lim_{t \rightarrow +\infty} B(t) = M \qquad (3.3)$$



Gambar 3.1 Bentuk Kurva pada Model Bass [41]

Perbandingan antara asimtot negatif dan jarak antar asimtot berada pada rentang 0 sampai 1 dan dapat dinyatakan dalam persen, disebut parameter s . Nilai parameter s akan mempengaruhi bentuk kurva secara vertikal. Jarak antar asimtot adalah $M \left(1 + \frac{p}{q}\right)$, sehingga parameter s dinyatakan dengan [41]:

$$s = \frac{pM/q}{M+pM/q} = \frac{p}{p+q}, p > 0, q \geq 0 \qquad (3.4)$$

Nilai karakteristik s adalah:

- $s \rightarrow 0$ asimtot negatif $\rightarrow 0$, imitasi mendominasi, bentuk kurva serupa dengan model logistic sederhana ($q \gg p > 0$),
- $s = 0.5$ puncak penjualan terjadi pada saat awal produk diperkenalkan

$s = 1$ asimtot negatif $\rightarrow \infty$, inovasi mendominasi; kurva akan berbentuk serupa dengan model pertumbuhan saturasi eksponensial ($q = 0, p > 0$),

dari persamaan sebelumnya didapat $p = (p + q) \cdot s$; $q = (p + q) \cdot (1 - s)$. Jika diketahui bahwa tingkat penetrasi adalah $B(t_s + \Delta t) = vM$ akan didapat persamaan [41]:

$$p + q = \frac{1}{\Delta t} \ln \left(1 + \frac{v}{s(1-v)} \right) \quad (3.5)$$

$$B(t; M, t_s, \Delta t, s, v) = M \frac{1 - \left(1 + \frac{v}{s(1-v)}\right)^{-\frac{t-t_s}{\Delta t}}}{1 + \left(\frac{1}{s} - 1\right) \cdot \left(1 + \frac{v}{s(1-v)}\right)^{-\frac{t-t_s}{\Delta t}}} \quad (3.6)$$

Persamaan diatas adalah bentuk reparameterisasi dari model Bass (p dan q diganti) dimana:

- M = kapasitas pasar;
- t_s = titik waktu saat produk diperkenalkan, $t_s \leq t$,
- Δt = durasi karakteristik produk, $\Delta t > 0$,
- s = parameter bentuk, $0 < s \leq 1$; dan
- v = penetrasi pada titik waktu $t_s + \Delta t$, $0 \leq v < 1$

3.2.2 Benchmarking Kebijakan Broadband

Untuk menentukan kebutuhan *bitrate per user* antara tahun 2011-2020 perlu dilakukan *benchmarking* definisi dan target *broadband* dari negara lain, mengingat di Indonesia belum ada definisi yang jelas mengenai kelas layanan dan kebutuhan *bitrate minimum per user*. Untuk proses ini, dipilih dua negara sebagai pembandingan, yaitu India dan USA. India dipilih dengan pertimbangan bahwa India memiliki karakteristik sosial-ekonomi dan demografi yang relatif mirip dengan Indonesia. USA dipilih sebagai batasan target layanan *broadband* di Indonesia agar tidak terjadi overestimasi.

Seperti telah disebutkan pada Bab 2, India mendefinisikan *broadband* sebagai layanan koneksi data “*always-on*” dengan kecepatan minimum 256 kbps per individu. Kecepatan akses minimum tersebut ditentukan TRAI dengan

menyadari kebutuhan *bitrate* minimum berbagai aplikasi sesuai dengan skenario India seperti tampak pada Tabel 3.9 dengan komposisi pelanggan *broadband* India tahun 2008 pada Tabel 3.10. Sebagai catatan, di India juga tersedia layanan *broadband* berkecepatan 2 Mbps, namun jumlah pelanggan layanan ini tidaklah signifikan.

Berdasarkan Report of the US Broadband Coalition on a National Broadband Strategy, 24 September 2009 oleh US Broadband Coalition, sementara ini ditetapkan target National Broadband Plan USA untuk layanan *wireless* seperti disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.4 Kebutuhan *Bitrate* Berbagai Aplikasi (skenario India) [43]

Aplikasi	<i>Bitrate</i> minimum yang dibutuhkan
<i>Internet surfing</i>	sampai 256 kbps
<i>E-mail</i>	64 kbps
<i>Voice chatting</i>	64 kbps
<i>Voice & Video chatting</i>	256 - 512 kbps
<i>Video clips</i>	256 - 512 kbps
<i>Tele-education</i>	256 - 512 kbps
<i>Tele-medicine</i>	256 kbps
<i>Video streaming</i>	2 Mbps
<i>Video Gaming</i>	256 - 512 kbps (game dengan presisi yang lebih tinggi mungkin akan membutuhkan <i>bitrate</i> yang lebih tinggi)
<i>High definition video</i>	4 - 8 Mbps

Tabel 3.5 Komposisi Pelanggan *Broadband* India [43]

Kecepatan koneksi	% Pelanggan <i>broadband</i>
256 kbps	96%
512 kbps	< 3%
> 1 Mbps	< 1%

Target *wireless broadband* tersebut dibuat berdasarkan tujuan National Broadband Plan USA, antara lain [46]:

1. Setiap rumah, perkantoran, institusi publik dan swasta di Amerika harus memiliki akses internet *broadband* berkecepatan dengan harga terjangkau

2. Akses internet haruslah terbuka untuk semua pengguna, penyedia layanan, penyedia konten, dan penyedia aplikasi
3. Operator jaringan harus memiliki hak untuk mengatur jaringannya dengan bertanggungjawab, sesuai dengan standar dan panduan yang jelas dan berlaku
4. Pasar internet dan *broadband* haruslah dibuat sekompetitif mungkin
5. Jaringan *broadband* U.S. harus dapat menyediakan performa jaringan, kapasitas dan koneksi yang dibutuhkan warga Amerika untuk bersaing di pasar global

Tabel 3.6 Timeline dan Target Numerik *Broadband* di USA [46]

Kecepatan data		
Sekarang	Target 2015	Target 2020
1 Mbps atau kurang, dengan ketersediaan 95%	1 sampai 10 Mbps, dengan ketersediaan 90%	1 sampai 10 Mbps, dengan ketersediaan 95%

3.2.3 Perkiraan *Coverage Base Station*

3.2.3.1 Penggolongan Karakteristik Wilayah Jabodetabek

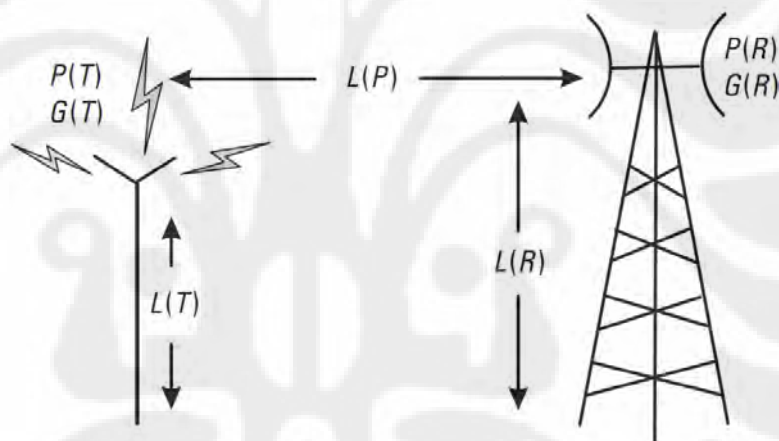
Penggolongan karakteristik wilayah Jabodetabek dilakukan berdasarkan kepadatan populasi, hal ini perlu dilakukan untuk perhitungan luas *coverage* sel *Base Station* (BS) dimana daerah dengan profil kepadatan yang berbeda akan memiliki model propagasi yang berbeda, sehingga luas *coverage* pun akan berbeda untuk jenis area yang berbeda pula. Tabel 3.11 menunjukkan penggolongan area berdasarkan kepadatan populasi:

Tabel 3.7 Penggolongan Area Berdasarkan Kepadatan Populasi [18]

Area	Kepadatan rata-rata (per km ²)
<i>Dense urban</i>	7500
<i>Urban</i>	3500
<i>Suburban</i>	1000
<i>Rural</i>	70
<i>Remote</i>	20

3.2.3.2 Uplink Budgeting

Perhitungan *link budget* pada arah *uplink* bertujuan untuk mendapatkan nilai *Maximum Allowable path Loss* (MAPL), yaitu nilai path loss maksimum yang diperbolehkan antara *transmitter* dan *receiver* untuk memperoleh *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) minimum yang dibutuhkan untuk mencapai kualitas yang mencukupi dengan turut memperhitungkan *soft handover* dan *log-normal fading*. Yang dimaksud dengan arah *uplink* adalah *User Equipment* (UE) sebagai *transmitter* dan *Base Station* (BS) sebagai *receiver*, ilustrasi konfigurasi transmisi untuk *uplink* budgeting disajikan pada Gambar 3.2 Adapun parameter yang digunakan dalam perhitungan link budget ini dibedakan antara sistem LTE dan mobile WiMAX.



Gambar 3.2 Konfigurasi Transmisi untuk Uplink Budget [29]

Pada Gambar 3.2 daya *transmitter* dan *receiver* masing-masing adalah $P(T)$ dan $P(R)$, *gain* antenna $G(T)$ dan $G(R)$, serta *cable/connector loss* $L(T)$ dan $L(R)$. komponen yang perlu dihitung pada *link budgeting* antara lain (*Effective Isotropic(ally) Radiated Power*) EIRP, sensitivitas *receiver*, dan *maximum path loss*. Persamaan umum untuk menghitung komponen-komponen tersebut antara lain [29]:

$$EIRP = P(T) + G(T) - L(T) \quad (3.7)$$

Dimana:

$EIRP$ = *Effective Isotropic(ally) Radiated Power receiver* (dB)

$P(T)$ = daya maksimum *transmitter* (dBm)

$G(T)$ = *gain antenna transmitter* (dB)

$L(T)$ = *loss kabel/konektor transmitter* (dB)

$$RxSensitivity = SNR + N_f + N_T \quad (3.8)$$

Dimana:

$RxSensitivity$ = *sensitivitas receiver* (dBm)

SNR = *Signal-to-Noise Ratio* (dB)

N_f = *noise figure receiver* (dB)

N_T = *thermal noise* (dBm)

$$MaxPathLoss = EIRP - RxSensitivity + G(R) - L(R) - FadeMargin \quad (3.9)$$

Dimana:

$MaxPathLoss$ = *path loss maksimum* (dB)

$G(R)$ = *gain antenna receiver* (dB)

$L(R)$ = *loss kabel/konektor* (dB)

$Fade Margin$ = *batas fading sinyal yang diterima* (dB)

3.2.3.3 Model Propagasi dan Luas Area Sel

Model propagasi yang digunakan dalam perhitungan luas area sel adalah model COST-231 Hata. Model ini merupakan pengembangan model propagasi Hata oleh European COST (Cooperation in the field of Scientific and Research). Model ini banyak digunakan sebagai model propagasi pada sistem seluler. Adapun model ini valid untuk parameter pada rentang berikut:

- $150\text{MHz} \leq f \leq 2000\text{MHz}$
- $30\text{m} \leq h_b \leq 200\text{m}$
- $1\text{m} \leq h_m \leq 10\text{m}$
- $1\text{km} \leq d \leq 20\text{km}$

Berikut ini persamaan median pathloss model COST-231 [9]:

$$\overline{PL} = 46.3 + 33.9 \log_{10} f - 13.82 \log_{10} h_b + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d - a(h_m) + C_F \quad (3.10)$$

Dimana

- f = frekuensi *carrier* (MHz),
 d = jarak antara *transmitter* dan *receiver* (km)
 h_b = tinggi antena BS (m)

Parameter C_F ditentukan sebesar 0 dB untuk wilayah *suburban* maupun *rural* dan 3 dB untuk wilayah *urban*.

Untuk daerah *urban*, nilai $a(h_m)$ adalah:

$$a(h_m) = 3.20(\log_{10}(11.75h_r)) - 4.97 \quad (3.11)$$

(Untuk $f > 400$ MHz)

Sedangkan untuk daerah *suburban* maupun *rural*:

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f - 0.7)h_r - (1.56 \log_{10} f - 0.8) \quad (3.12)$$

Dengan h_r adalah tinggi antena *Mobile Station* (MS) dalam meter.

Berdasarkan model propagasi COST-231, maka dapat diketahui persamaan untuk menghitung luas area sel untuk tiap kategori wilayah di Jabodetabek dengan ketentuan tinggi BS sebesar 30 m pada daerah *dense urban*, 35 meter pada daerah *urban*, dan 40 meter pada daerah *suburban*. Tinggi MS adalah 1.5 m dan frekuensi *carrier* yang digunakan adalah 2010 MHz untuk LTE dan 2300 MHz untuk mobile WiMAX.

1. Daerah *dense urban* dan *urban*

$$d = 10^{\frac{MAPL - 46.3 + 33.9 \log_{10} f + 13.82 \log_{10} h_b + (3.20(\log_{10}(11.75h_r)) - 4.97) - 3}{(44.9 - 6.55 \log_{10} h_b)}} \quad (3.13)$$

2. Daerah *suburban*

$$d = 10^{\frac{MAPL - 46.3 + 33.9 \log_{10} f + 13.82 \log_{10} h_b + ((1.1 \log_{10} f - 0.7)h_r - (1.56 \log_{10} f - 0.8))}{(44.9 - 6.55 \log_{10} h_b)}} \quad (3.14)$$

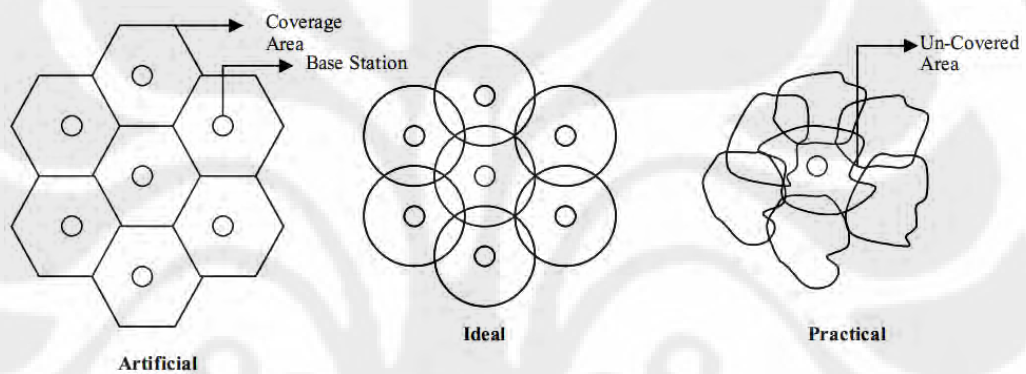
Dengan demikian, jarak jangkauan sel berdasarkan arah *uplink* dapat dihitung. Dengan mempertimbangkan bentuk geometri sel *hexagonal* seperti pada Gambar 3.3, maka persamaan untuk menghitung luas sel adalah:

$$Luas\ sel = \frac{3}{2} d\sqrt{3} \quad (3.11)$$

Dimana:

LuasSel = luas sel *hexagonal* (km²)

d = jarak jangkauan BS (km)



Gambar 3.3 Bentuk Sel pada Jaringan Seluler [32]

Jumlah *Base Station* dapat dihitung dengan persamaan:

$$JumlahBS = \frac{LuasArea}{LuasSel} \quad (3.12)$$

dimana:

JumlahBS = jumlah BS dalam satu *service area*

LuasArea = luas *service area* (km²)

LuasSel = luas sel (km²)

3.2.4 Perkiraan Kapasitas Base Station

3.2.4.1 Frequency reuse

Pada suatu jaringan seluler, kanal radio dapat dibagi dan dialokasikan untuk sel atau sektor yang berbeda dalam satu *cluster*. Pola penggunaan kanal radio ini akan berulang pada *cluster* yang lainnya, sehingga frekuensi yang sama dapat dipakai pada *cluster* yang berbeda.

Frequency reuse dapat dinyatakan dengan (c,n,s) dimana c adalah jumlah *base station* per *cluster*, n adalah jumlah kanal radio yang digunakan kembali, dan s adalah jumlah sektor per *base station*.

Pada sistem OFDMA dengan BS *tri-sector*, dapat digunakan *frequency reuse* (1,3,3); yaitu dalam satu *cluster* terdapat satu BS dengan tiga sektor dimana kanal radio yang dialokasikan pada tiap sektor berbeda, maupun *frequency reuse* (1,1,3); yaitu dalam satu *cluster* terdapat satu BS dengan tiga sektor yang memiliki kanal radio yang sama. Ilustrasi konfigurasi *cluster* dengan *frequency reuse* (1,3,3) dan (1,1,3) berturut-turut disajikan pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6. Dalam perhitungan, dipilih *frequency reuse* (1,1,3) untuk memperoleh kapasitas yang lebih besar pada tiap sektor-nya.

3.2.4.2 Throughput per Sektor

Untuk menghitung besar *throughput* satu sektor dalam BS secara akurat, perlu diketahui sebaran probabilitas SNR dalam sistem OFDMA [5]. Berdasarkan grafik sebaran probabilitas SNR pada sistem OFDMA dan *link level data*, *throughput* per sektor dapat dihitung dengan persamaan [5]:

$$\text{ThroughputSektor} = \sum_{SNR} (\text{ProbabilitasSNR} \times \text{ThroughputMCS}) \quad (3.13)$$

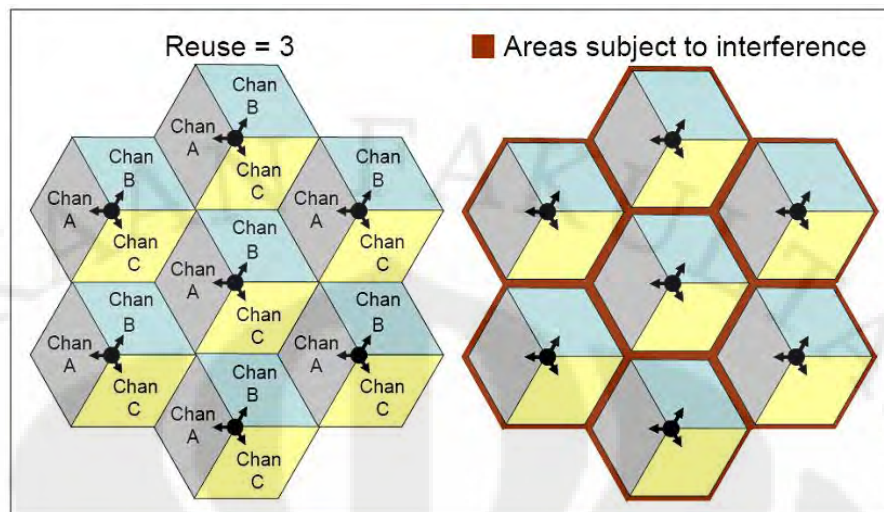
Dimana:

ThroughputSektor = *throughput* keseluruhan yang dihasilkan satu sektor BS (Mbps)

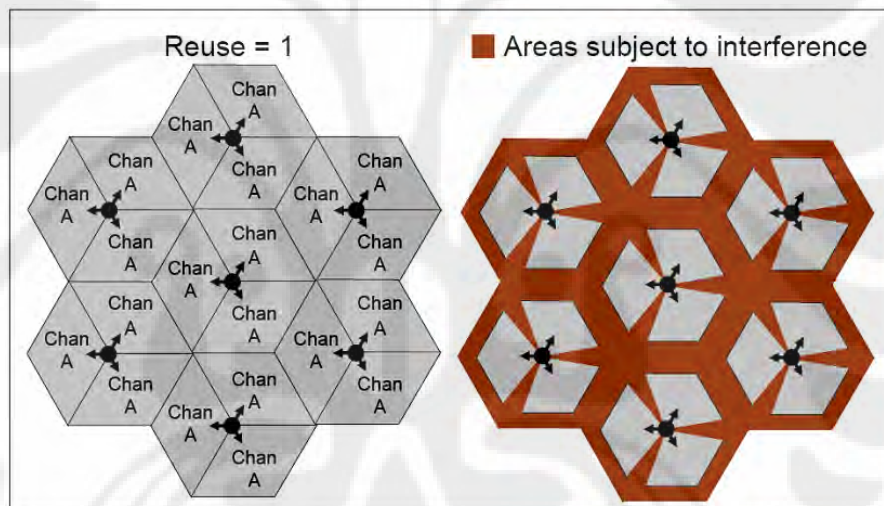
SNR = nilai SNR yang dibutuhkan satu MCS untuk bekerja (dB)

ProbabilitasSNR = probabilitas perolehan nilai SNR yang diperlukan MCS

ThroughputMCS = *throughput* yang dihasilkan MCS (Mbps)



Gambar 3.4 Konfigurasi *Frequency Reuse* (1,3,3) [28]



Gambar 3.5 Konfigurasi *Frequency Reuse* (1,1,3) [28]

3.2.5 *Contention ratio*

Contention ratio adalah rasio yang menyatakan jumlah *user* maksimal yang menggunakan satu unit kanal yang sama. Penentuan *contention ratio* didasarkan pada analisis *teletraffic* yang relatif kompleks, namun demikian hal ini sangat penting bagi penyelenggara jaringan agar infrastruktur yang disediakan penyelenggara jaringan tidak melebihi yang seharusnya, mengingat pada kenyataannya *user* tidak seluruhnya aktif secara bersamaan, tapi juga tidak terlalu minim sehingga tetap dapat menyediakan layanan yang *reliable* bagi pelanggan.

Di sisi penyelenggara jaringan, penerapan *contention ratio* dapat menekan *network cost* sementara di sisi pelanggan, implikasi *contention ratio* adalah biaya berlangganan yang lebih murah akibat *network cost* yang lebih rendah. Nilai *contention ratio* yang umum untuk pelanggan *residential* adalah 1:30 dan untuk pelanggan *business* sebesar 1:10 [7].

3.2.6 Perkiraan Kebutuhan Kapasitas Jaringan *Mobile Broadband*

Kapasitas jaringan *mobile broadband* yang dibutuhkan bisa dihitung dengan persamaan berikut [44]:

$$Kapasitas_{tahun-n} = \frac{Subscriber_{tahun-n} \times CR \times bitrate_{tahun-n}}{JumlahBS} \quad (3.14)$$

Dimana:

$Kapasitas_{tahun\ ke-n}$ = kapasitas (per BS) pada tahun n (Mbps)

$Subscriber_{tahun-n}$ = jumlah pelanggan pada tahun n ,

CR = *contention ratio*

$bitrate_{tahun-n}$ = *bitrate* per *user* yang disediakan pada tahun n

(Mbps)

BAB 4

PERKIRAAN DAN ANALISIS KEBUTUHAN SPEKTRUM

4.1 Perhitungan Perkiraan Demand

Hasil pengolahan data penduduk usia potensial di daerah Jabodetabek berdasarkan data SUPAS tahun 2005 disajikan pada Tabel 4.1 dan proyeksi laju pertumbuhan penduduk periode 2000-2025 menurut BPS disajikan pada Tabel 4.2. Berdasarkan proyeksi pertumbuhan pada Tabel 4.2, dapat diperkirakan jumlah potensi *demand broadband* tahun 2009 yaitu dengan memproyeksikan penduduk berusia potensial tahun 2009 dari data tahun 2005 kemudian mengurangkannya dengan dengan jumlah penduduk prasejahtera berdasarkan profil kemiskinan di Indonesia Maret 2009 menurut BPS seperti tersaji pada Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Penduduk Usia Potensial (2005) [15]

Area	Jumlah penduduk usia potensial (2005)
DKI Jakarta	7,287,464
Kota Bekasi	1,661,408
Bogor	2,871,895
Kota Bogor	717,512
Kota Depok	1,093,032
Tangerang	2,579,004
Total	16,210,315

telah diolah kembali

Tabel 4.2 Proyeksi Laju Pertumbuhan Penduduk [15]

Tahun	Pertumbuhan (%)		
	DKI Jakarta	Jawa Barat	Banten
2000-2005	0.8	1.81	2.83
2005-2010	0.54	1.73	2.75
2010-2015	0.41	1.6	2.63
2015-2020	0.2	1.45	2.47
2020-2025	-0.01	1.27	2.27

telah diolah kembali

Pada Tabel 4.4 disajikan potensi *demand broadband* tahun 2009 yang akan menjadi acuan perkiraan *demand mobile broadband* sampai 10 tahun ke depan.

Dengan asumsi penetrasi maksimum *broadband* Jabodetabek sebesar 90% dimana 70% kebutuhan *broadband* tersebut dilayani oleh layanan *mobile broadband* maka nilai kapasitas pasar M adalah 63%, dengan harapan bahwa pada tahun 2020 penetrasi seluler telah mencapai 95% dari kapasitas pasar, maka parameter bantu v yang digunakan adalah 95%. Dengan mempertimbangkan adanya tiga kemungkinan skenario adopsi pasar yang berbeda, digunakan parameter s sebesar 20%, 50% dan 80% [41], yang masing-masing secara berturut-turut merepresentasikan bahwa lebih banyak *imitator* daripada *innovator*, jumlah *innovator* dan *imitator* relatif berimbang, dan lebih banyak *innovator* daripada *imitator*.

Tabel 4.3 Persentase Penduduk Miskin 2009 [12]

Provinsi	Persentase kemiskinan (%)
DKI Jakarta	3.62
Jawa Barat	11.98
Banten	7.64

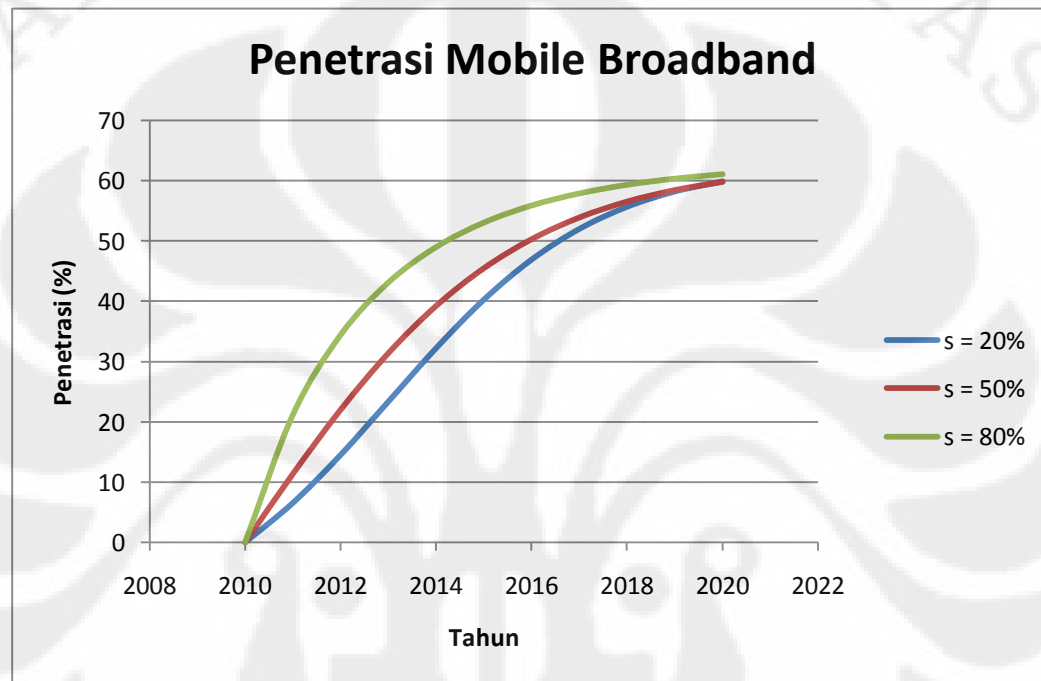
telah diolah kembali

Tabel 4.4 Potensi *Demand Broadband* 2009

Daerah	Potensi
DKI Jakarta	7,205,197
Kota Bekasi	1,566,580
Bogor	2,707,976
Kota Bogor	676,559
Kota Depok	1,030,645
Tangerang	2,654,992
TOTAL	15,841,948

Perkiraan penetrasi dengan menggunakan model Bass berparameter penjas ini diakhiri sampai pada titik waktu tahun 2020 dengan titik waktu pengenalan produk pada tahun 2010, yaitu merupakan waktu peluncuran layanan *mobile broadband* di atas standar IMT-2000 (yaitu LTE maupun *mobile WiMAX*). Grafik penetrasi *mobile broadband* 2010 sampai 2020 disajikan pada

Gambar 4.1. Grafik pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa untuk skenario $s = 80\%$ laju adopsi layanan *mobile broadband* oleh pelanggan potensial sangat cepat, dengan beda waktu untuk meraih level penetrasi 50% sekitar 2 tahun terhadap skenario $s = 50\%$ dan 2.5 tahun terhadap skenario $s = 20\%$, implikasinya ialah bahwa kemungkinan terbesar untuk penyediaan tambahan spektrum oleh pemerintah lebih awal terdapat pada skenario $s = 80\%$.



Gambar 4.1 Perkiraan Penetrasi *Mobile Broadband* 2010-2020

Untuk memperkirakan *demand broadband*, perlu dilakukan perkiraan jumlah potensi *broadband* sampai 2020 berdasarkan proyeksi pertumbuhan penduduk pada Tabel 4.2. Dengan demikian dapat dihitung *demand mobile broadband* sampai tahun 2020 yang merupakan produk dari potensi *broadband* dengan penetrasi *mobile broadband* tiap tahunnya seperti tersaji pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Demand *Mobile Broadband* 2010-2020

Tahun	Potensi	Jumlah subscriber		
		s = 20 %	s = 50 %	s = 80 %
2010	16,064,558	0	0	0
2011	16,263,399	1,521,415	2,639,470	4,922,197
2012	16,465,806	3,413,504	5,176,315	8,101,129
2013	16,671,856	5,561,014	7,475,954	10,272,474
2014	16,881,623	7,768,988	9,459,881	11,818,875

2015	17,095,188	9,829,904	11,106,961	12,958,856
2016	17,282,235	11,577,549	12,416,889	13,801,582
2017	17,472,593	12,974,322	13,452,753	14,454,611
2018	17,666,327	14,043,900	14,267,988	14,975,525
2019	17,863,506	14,847,339	14,913,128	15,403,587
2020	18,064,200	15,452,582	15,431,203	15,766,094

(sambungan Tabel 4.5)

4.2 Penentuan *Bitrate* per *User*

Dengan menilik kebijakan dan kebutuhan layanan *broadband* di India maupun USA, maka dapat ditentukan asumsi target kecepatan akses *broadband* per *user* antara 2011 sampai 2010 untuk wilayah Jabodetabek sebagai berikut:

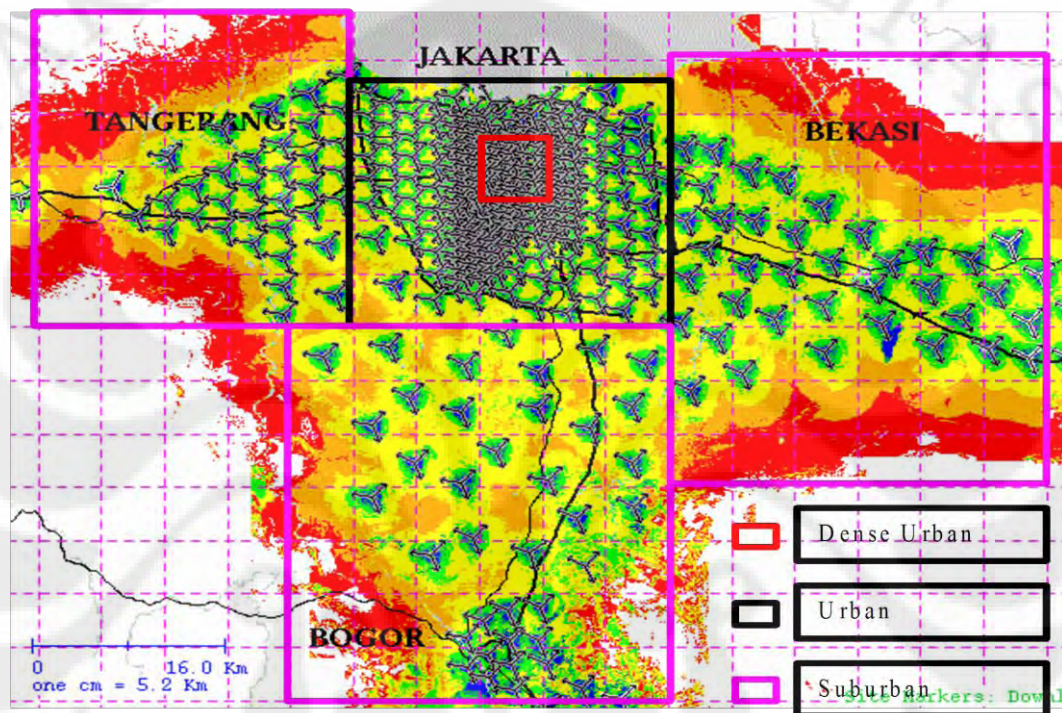
Tabel 4.6 Asumsi Kebutuhan *Bitrate* per *User Mobile Broadband* di Indonesia

Tahun	<i>Bitrate</i> Minimum
2011	1 Mbps
2012	1 Mbps
2013	1 Mbps
2014	2 Mbps
2015	2 Mbps
2016	2 Mbps
2017	2 Mbps
2018	5 Mbps
2019	5 Mbps
2020	10 Mbps

Dengan penentuan target kecepatan akses tersebut, diharapkan kebutuhan pelanggan *broadband* Indonesia untuk aplikasi dasar seperti *browsing*, *e-mail*, *chatting* dan lain sebagainya dapat terpenuhi dengan baik dari tahun 2011. Kemudian pada tahun 2014 sampai 2017 pelanggan *broadband* sudah mulai dapat menggunakan aplikasi *video streaming* dengan lancar. Pada tahun 2018 dan 2019 merupakan peralihan menuju era penggunaan aplikasi internet yang lebih canggih, aplikasi *high definition video* sudah memungkinkan bagi pelanggan *broadband* Indonesia. Di tahun 2020 kecepatan yang diharapkan adalah 10 Mbps, sebagai antisipasi terhadap kemunculan aplikasi internet baru yang membutuhkan *bitrate* minimum yang lebih tinggi.

4.3 Perhitungan Jumlah Base Station

Gambar 4.2 berikut menunjukkan kategorisasi wilayah Jabodetabek berdasarkan profil kepadatan penduduknya. Adapun rincian pembagian luas wilayah berdasarkan karakteristik kepadatan di wilayah Jabodetabek disajikan pada Tabel 4.7.



Gambar 4.2 Wilayah Jabodetabek Berdasarkan Kepadatan Populasi [36]

Tabel 4.7 Luas Jabodetabek Berdasarkan Kepadatan Populasi [35]

Jenis Area	Luas (km ²)
Dense Urban	50.57
Urban	689.71
Suburban	6459.46
TOTAL	7199.74

Pada Tabel 4.8 disajikan *link budgeting* secara terperinci untuk sistem LTE dan mobile WiMAX pada arah *uplink* untuk skenario *outdoor* dengan asumsi frekuensi *carrier* LTE sebesar 2010 MHz dan mobile WiMAX sebesar 2300 MHz.

Tabel 4.8 Uplink Budget LTE dan Mobile WiMAX

Transmitter (UE)	LTE	mobile WiMAX	
Max. TX power (dBm)	24	23	a
TX antenna gain (dBi)	0	0	b
Body loss (dB)	0	0	c
EIRP (dBm)	24	23	d=a+b+c
Receiver (Base Station)			
Noise figure (dB)	5	4	e
Thermal noise (dBm)	-118.41	-118.82	f = k*T*B
Receiver noise floor (dBm)	-113.41	-114.82	g = e+f
SINR (dB)	-7	0.8	h
Receiver sensitivity (dBm)	-120.41	-114.02	i = g+h
Interference margin (dB)	3	1.75	j
Cable loss (dB)	2	2	k
RX antenna gain (dBi)	15	18	l
MHA gain	2	2	m
Maximum path loss (dB)	156.41	153.27	n= d - i - j + k + l - m
Log-normal fading margin (dB)	12.82	7.69	o
Soft handover gain (dB)	3	3	p
Indoor Loss (dB)	0	0	q
MAPL (dB)	146.59	148.58	r = n - o + p - q

Berikut ini hasil perhitungan jarak jangkauan sel, luas sel, dan jumlah BS pada tiap kategori kepadatan area:

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Jumlah BS LTE

Jenis area	Jarak jangkauan sel (km)	Luas Sel (km ²)	Jumlah BS
Dense urban	1.363488826	4.830088104	10
Urban	1.455277152	5.502287868	125
Suburban	2.02580561	10.66221475	606
TOTAL			741

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Jumlah BS mobile WiMAX

Jenis area	Jarak jangkauan sel (km)	Luas Sel (km ²)	Jumlah BS
Dense urban	1.364003437	4.83373476	10
Urban	1.455833331	5.506494412	125
Suburban	2.027422086	10.6792372	605
TOTAL			740

4.4 Perhitungan *Throughput* per *Base Station*

Dengan turut memperhitungkan penggunaan modulasi adaptif pada sistem LTE maupun mobile WiMAX, maka perlu diketahui pula *link level simulation data* sistem LTE maupun mobile WiMAX yang merepresentasikan *Modulation and Coding Scheme* (MCS) yang digunakan pada tingkat SNR yang berbeda dan memetakan kualitas SNR pada efisiensi spektrum untuk tiap MCS pada arah *downlink* seperti tampak pada Gambar 4.4 untuk LTE dan Gambar 4.5 untuk mobile WiMAX.

Nilai *throughput* per MCS dihitung untuk total *bandwidth* kanal pada sektor sebesar 190 MHz untuk LTE dan 210 MHz untuk mobile WiMAX seperti yang telah disebutkan pada sub-bab 3.1. Dengan menggunakan persamaan (3.13), didapat nilai *throughput* per sektor sebesar ± 304 Mbps untuk LTE dan ± 251 Mbps untuk mobile WiMAX.

Tabel 4.11 *Throughput* yang Dihasilkan Berbagai MCS pada LTE

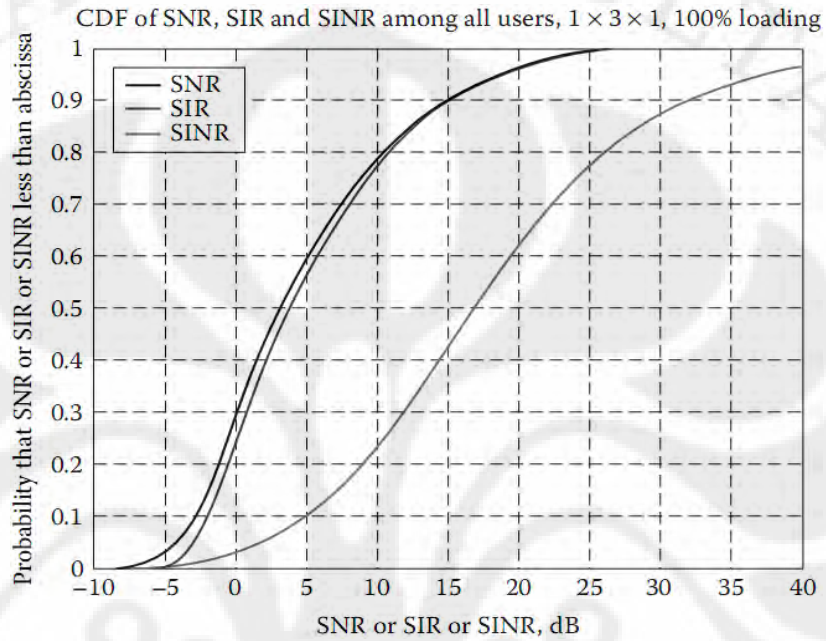
MCS	SNR _{min} (dB)	Probabilitas MCS	Efisiensi spektrum (bps/Hz)	<i>Throughput</i> per MCS (Mbps)
QPSK, R= 1/8	-5.5	0.11	0.25	47.5
QPSK, R= 1/5	-3	0.02	0.45	85.5
QPSK, R= 1/4	-2.5	0.11	0.5	95
QPSK, R= 1/3	-1	0.04	0.65	123.5
QPSK, R= 1/2	1	0.21	1	190
QPSK, R= 2/3	3.2	0.07	1.3	247
QPSK, R= 4/5	5	0.08	1.6	304
16 QAM, R= 1/2	7	0.1	2	380
16 QAM, R= 2/3	10.5	0.02	2.7	513
64 QAM, R= 4/5	11.25	0.08	3.25	617.5
64 QAM, R= 2/3	14	0.04	4	760
64 QAM, R= 3/4	16	0.02	4.5	855
64 QAM, R= 4/5	17	0.06	4.8	912

Tabel 4.12 *Throughput* yang Dihasilkan Berbagai MCS pada mobile WiMAX

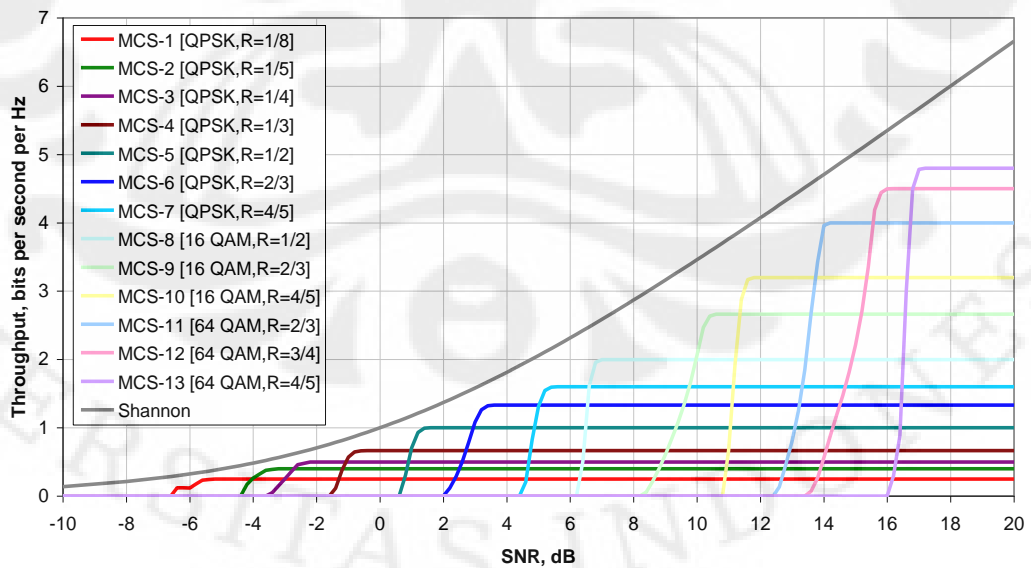
MCS	SNR _{min} (dB)	Probabilitas MCS	Efisiensi spektrum (bps/Hz)	<i>Throughput</i> per MCS (Mbps)
QPSK, R= 1/2	2	0.16	1	210
QPSK, R= 3/4	5	0.15	1.5	315

16 QAM, R= 1/2	8	0.07	2	420
16 QAM, R= 2/3	12	0.08	3	630
64 QAM, R= 2/3	15.5	0.04	4	840
64 QAM, R= 3/4	17	0.06	4.5	945

(sambungan Tabel 4.12)

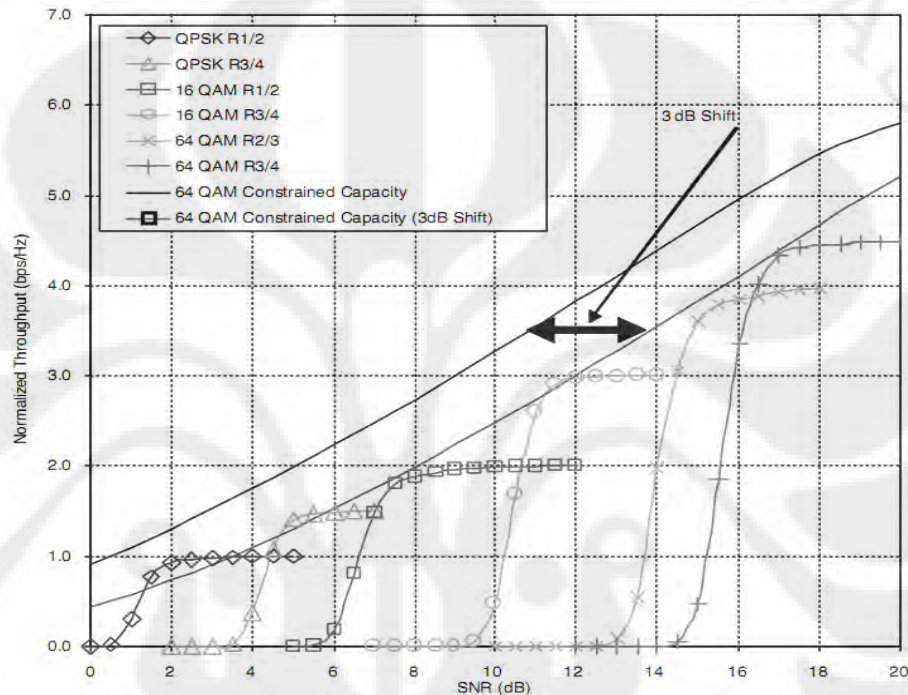


Gambar 4.3 Sebaran Probabilitas SNR pada sistem OFDMA [51]



Gambar 4.4 Efisiensi Spektrum LTE untuk Berbagai MCS [3]

Dengan asumsi komposisi pelanggan *residential* sebesar 80% dan pelanggan *business* 20% dari total jumlah subscriber per tahun dengan nilai *contention ratio* sebesar 1:30 untuk pelanggan *residential* dan 1:10 untuk pelanggan *business*, maka kapasitas per sektor yang harus disediakan antara tahun 2011 sampai 2020 dapat dihitung dengan persamaan (3.14), hasil perhitungan tersaji pada Tabel 4.13.



Gambar 4.5 Efisiensi Spektrum mobile WiMAX Berbagai MCS [9]

Tabel 4.13 Perkiraan Kebutuhan Kapasitas BS 2011-2020

Tahun	Kebutuhan kapasitas per sektor (Mbps)					
	LTE			Mobile WiMAX		
	s = 20%	s = 50%	s = 80%	s = 20%	s = 50%	s = 80%
2011	22	39	72	22	39	72
2012	50	76	119	50	76	119
2013	82	110	151	82	110	151
2014	228	278	347	229	278	348
2015	289	326	381	289	327	381
2016	340	365	406	341	365	406
2017	381	395	425	382	396	425
2018	1032	1048	1100	1,033	1,050	1,102
2019	1091	1096	1132	1,092	1,097	1,133
2020	2271	2268	2317	2,274	2,271	2,320

4.5 Kebutuhan Spektrum

Kebutuhan *bandwidth* yang harus ditambahkan untuk tiap sektor pada BS bergantung pada selisih antara kapasitas per sektor yang dibutuhkan dengan kapasitas per sektor BS (*throughput* sektor) berdasarkan alokasi spektrum yang tersedia, formulasi perhitungan penambahan *bandwidth* pada persamaan (4.1).

$$BW = \frac{\text{KapasitasDibutuhkan} - \text{KapasitasTersedia}}{\text{EfisiensiSpektrum}} \quad (4.1)$$

Dimana:

BW = *Bandwidth* per sektor (MHz)

EfisiensiSpektrum = Efisiensi spektrum (bps/Hz/cell)

$\text{KapasitasDibutuhkan}$ = Kapasitas sektor yang dibutuhkan (Mbps)

KapasitasTersedia = Kapasitas sektor yang tersedia (Mbps)

Dengan demikian dapat diketahui *bandwidth* yang harus ditambahkan relatif terhadap alokasi spektrum saat ini untuk LTE dan mobile WiMAX pada berbagai skenario seperti ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.6.

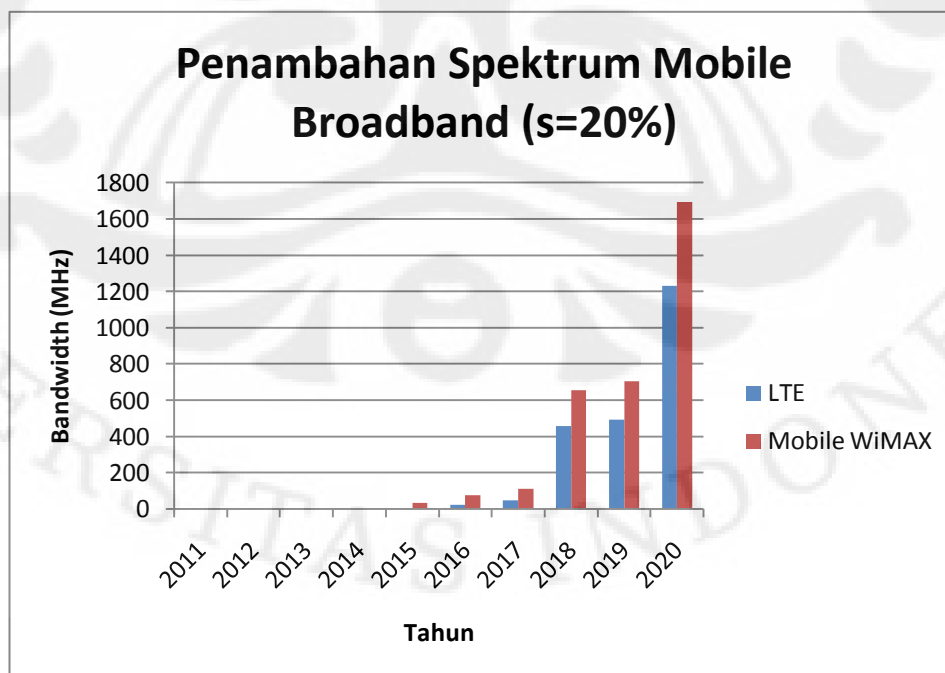
Tabel 4.14 Perkiraan Penambahan *Bandwidth* per Sektor BS 2011-2020

Tahun	Tambahkan <i>Bandwidth</i> (MHz)					
	LTE			Mobile WiMAX		
	s = 20 %	s = 50 %	s = 80 %	s = 20 %	s = 50 %	s = 80 %
2011	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	27	0	23	81
2015	0	14	48	32	64	109
2016	23	38	64	75	96	130
2017	49	57	76	110	121	146
2018	456	466	498	655	668	712
2019	492	495	518	704	708	738
2020	1231	1229	1259	1693	1690	1731

Hasil perkiraan spektrum menunjukkan bahwa alokasi spektrum yang telah ditetapkan pemerintah untuk layanan *broadband wireless access* saat ini secara signifikan dapat memenuhi kebutuhan sumber daya frekuensi radio untuk

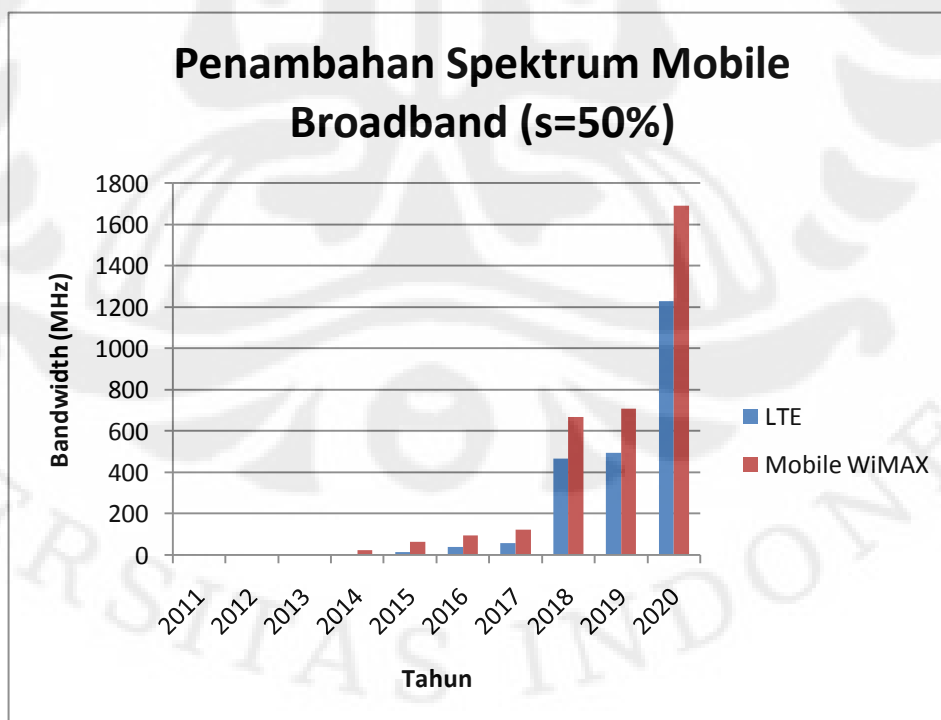
implementasi *mobile broadband* sampai tahun 2014 jika *imitator* mendominasi *innovator*, namun jika yang terjadi adalah dua skenario lainnya, maka alokasi spektrum yang ada akan memenuhi kebutuhan spektrum hanya sampai tahun 2013. Di tahun 2014 dibutuhkan tambahan spektrum selebar 27 MHz untuk penggelaran LTE pada skenario $s = 80\%$, 23 MHz untuk penggelaran mobile WiMAX pada skenario $s = 50\%$ dan 81 MHz untuk penggelaran mobile WiMAX pada skenario $s = 80\%$. Hal ini mengindikasikan bahwa tambahan bandwidth yang diperlukan pada tahun 2014 jika jumlah *imitator* dan *innovator* berimbang paling banyak adalah 23 MHz (dibulatkan menjadi 25 MHz, kira-kira selebar 1x kanal 20 MHz ditambah 1x kanal 5MHz), sementara jika *innovator* mendominasi *imitator* maka jumlah tambahan bandwidth yang diperlukan antara 27 MHz sampai 81 MHz (± 30 MHz – 85 MHz).

Antara tahun 2015 sampai 2017 tambahan spektrum yang diperlukan meningkat, namun tidak lebih dari 200 MHz, yaitu paling banyak 110 MHz untuk skenario $s = 20\%$, antara 14 MHz sampai 121 MHz (± 15 MHz – 125 MHz) untuk skenario $s = 50\%$ dan 48 MHz sampai 146 MHz (± 50 MHz – 150 MHz) untuk skenario $s = 80\%$. Adapun nilai tambahan spektrum pada rentang yang telah disebutkan adalah rentang nilai tambahan spektrum yang diperlukan jika dilakukan penggelaran jaringan LTE maupun mobile WiMAX.



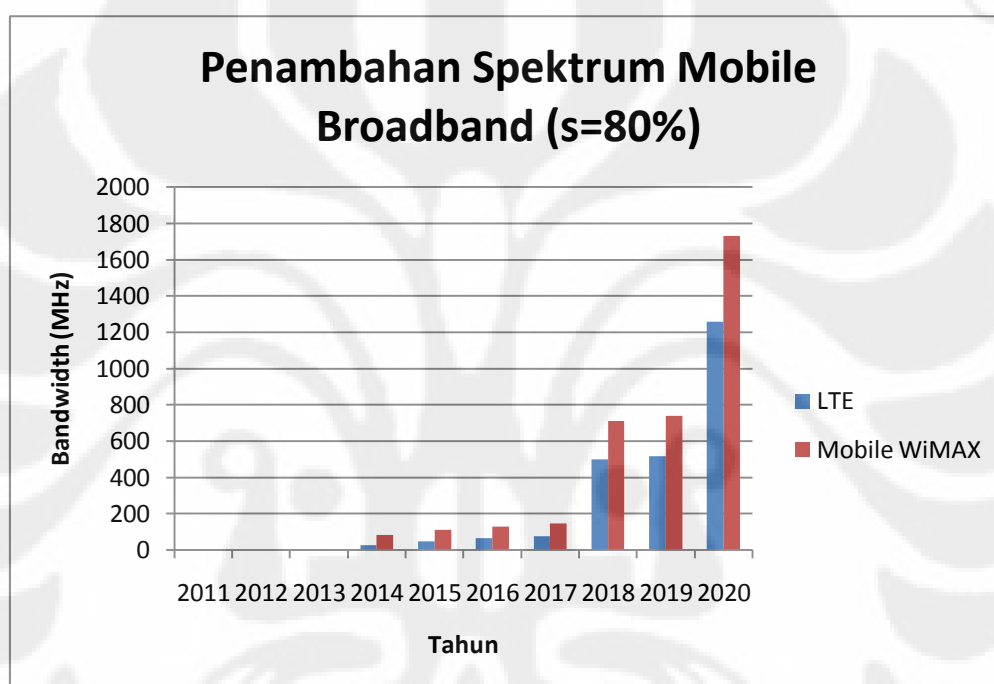
Gambar 4.6 Grafik Penambahan Spektrum per Sektor BS 2011-2020 ($s = 20\%$)

Kebutuhan tambahan spektrum yang signifikan mulai tampak pada tahun 2018, yaitu sebesar 456 MHz sampai 498 MHz untuk penggelaran LTE pada cakupan semua skenario dan 655 MHz sampai 712 MHz untuk penggelaran mobile WiMAX pada cakupan semua skenario. Berarti, pada tahun 2018 kebutuhan tambahan spektrum antara ± 470 MHz – 715 MHz. Pada tahun 2018 tampak bahwa faktor perbedaan skenario adopsi pasar tidak terlalu menimbulkan perbedaan tambahan spektrum yang berarti, tetapi justru perbedaan teknologi yang menunjukkan perbedaan tambahan spektrum yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada tahun 2018 selisih penetrasi antar skenario adopsi pasar tidaklah terlalu besar karena penetrasi pada semua skenario sudah hampir mencapai nilai kapasitas pasar yang merupakan asimtot positif kurva S pada model difusi Bass. Artinya, sejak tahun 2018 rentang kebutuhan tambahan spektrum tidak lagi terlalu dikendalikan oleh skenario pasar, tetapi cenderung dipengaruhi oleh faktor perbedaan kapabilitas teknologi jaringan yang akan digelar. Hal yang demikian juga terjadi di tahun 2019, dimana tambahan spektrum yang dibutuhkan berkisar antara 492 MHz sampai 738 MHz (± 500 MHz – 750 MHz).



Gambar 4.7 Grafik Penambahan Spektrum per Sektor BS 2011-2020 (s = 50%)

Di tahun 2020 kebutuhan tambahan spektrum meningkat tajam, kira-kira 250% dari kebutuhan tambahan spektrum di tahun 2019, yaitu pada nilai 1231 MHz sampai 1731 MHz (± 1230 MHz – 1735 MHz). Hal ini disebabkan pada tahun 2020 penetrasi *mobile broadband* telah mencapai tingkatan yang sangat tinggi, yaitu pada titik 95% dari kapasitas pasar. Selain itu penetapan *bitrate* per *user* yang tinggi di tahun 2020, yaitu sebesar 10 Mbps (dua kali lipat *bitrate* tahun 2019) juga turut menjadi penyebab meningkatnya kebutuhan tambahan spektrum secara tajam.



Gambar 4.8 Grafik Penambahan Spektrum per Sektor BS 2011-2020 ($s = 80\%$)

Dengan melihat adanya potensi pengguna *mobile broadband* yang relatif besar di Indonesia, telah dilakukan perkiraan jumlah pelanggan *mobile broadband* sampai tahun 2020 dengan mengambil sampel wilayah Jabodetabek, yang secara tidak langsung akan menggambarkan kebutuhan spektrum frekuensi untuk implementasi *mobile broadband* sampai tahun 2020. Berdasarkan perhitungan dan analisis perkiraan penambahan spektrum frekuensi pada subbab 4.5 ini, didapat hasil bahwa alokasi spektrum frekuensi oleh pemerintah saat ini hanya dapat mencukupi kebutuhan spektrum untuk implementasi *mobile broadband* (*beyond* IMT-2000) sampai tahun $\pm 2013/2014$. Pada tahun-tahun berikutnya, sudah harus tersedia spektrum frekuensi tambahan untuk memenuhi *demand mobile*

broadband yang diperkirakan akan terus meningkat sampai tahun 2020. Titik waktu tahun penambahan spektrum frekuensi yang signifikan (dalam artian selisih penambahan spektrum frekuensi pada tahun tersebut terhadap tahun sebelumnya relatif besar) antara lain pada tahun 2014, 2018, dan 2020.



BAB 5

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari kajian tentang penambahan *bandwidth* untuk *mobile broadband* di Indonesia ini antara lain:

1. Dengan menggunakan model difusi Bass berparameter penjas dapat diperkirakan penetrasi teknologi *mobile broadband* (*beyond* IMT-2000) untuk berbagai skenario perilaku pasar yang secara tidak langsung dapat menggambarkan kebutuhan spektrum frekuensi *mobile broadband*.
2. Alokasi spektrum potensial untuk layanan *mobile broadband* di Indonesia saat ini, yaitu sebesar 190 MHz lebar spektrum efektif yang bisa dipakai teknologi LTE dan 210 MHz untuk *mobile WiMAX* secara umum mampu mencukupi kebutuhan spektrum *mobile broadband* paling lama sampai tahun 2014 sesuai hasil perhitungan pada Tabel 4.14.
3. Berdasarkan analisis pada subbab 4.5, diketahui titik waktu penambahan spektrum frekuensi yang signifikan untuk implementasi *mobile broadband*, yaitu pada tahun 2014, 2018, dan 2020.

DAFTAR REFERENSI

- [1] 3rd Generation Partnership Project. (2009). *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 9)*. Valbonne: 3GPP.
- [2] 3rd Generation Partnership Project. (2009). *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 9)*. Valbonne: 3GPP.
- [3] 3rd Generation Partnership Project. (2009). *3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios; (Release 8)*. Valbonne: 3GPP.
- [4] Abate, Z. (2009). *WiMAX RF Systems Engineering*. Norwood: ARTECH HOUSE.
- [5] Abdul Basit, S. (2009, Februari). Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution Radio interface. Espoo: Helsinki University of Technology.
- [6] Agilent Technologies. (2009, September 8). 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges. USA.
- [7] Ahmadzadeh, A. M. (2008, September). Capacity and Cell-Range Estimation for Multitrafic Users in Mobile WiMAX. Madrid.
- [8] Alcatel-Lucent. (2008). *Long Term Evolution (LTE) Overview*. Alcatel-Lucent.
- [9] Andrews, J. G., Ghosh, A., & Muhamed, M. (2007). *Fundamentals of WiMAX : Understanding Broadband Wireless Networking*. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.
- [10] Anindita, G. (2008). Penyelenggaraan BWA di Indonesia. (pp. 2-5). Jakarta: Depkominfo.
- [11] APJII. (2008, Februari 25). *tikometer.or.id - Pengguna dan Pelanggan Internet di Indonesia*. Retrieved 10 11, 2009, from [tikometer: http://tikometer.or.id/index.php?option=com_content&task=category§ionid=1&id=13&Itemid=46](http://tikometer.or.id/index.php?option=com_content&task=category§ionid=1&id=13&Itemid=46)
- [12] Badan Pusat Statistik. (2009, Juli 1). PROFIL KEMISKINAN DI

INDONESIA MARET 2009. *Berita Resmi Statistik* , pp. 1-9.

- [13] Barongo, M. W. (2008, November). Dimensioning Mobile WIMAX in the Access and Core Network: A case Study. Espoo: HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- [14] Buttkerelt, S., Enriquez, L., Grijpink, F., Moraje, S., Torfs, W., & Tanja, V.-D. (2009). *Mobile Broadband for The Masses: Regulatory levers to make it happen*. Louvain-la-Neuve: McKinsey&Company.
- [15] Data Statistik Indonesia. (2009). Retrieved 10 14, 2009, from Data Statistik Indonesia: http://www.datastatistikindonesia.com/component/option,com_tabel/task,/Itemid,165/
- [16] DEPARTEMEN KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA REPUBLIK INDONESIA. (2009). *TABEL ALOKASI SPEKTRUM FREKUENSI RADIO INDONESIA*. Jakarta: DEPARTEMEN KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA
- [17] DITJEN POSTEL. (2006). *PENATAAN SPEKTRUM FREKUENSI RADIO LAYANAN AKSES PITA LEBAR BERBASIS NIRKABEL (BROADBAND WIRELESS ACCESS/BWA)*. Jakarta: DEPKOMINFO.
- [18] Elnegaard, N. K., Stordahl, K., Lydersen, J., & Eskedal, T. G. (2009). Mobile Broadband Evolution and the Possibilities. *Teletronikk* , 63-73.
- [19] Engineering Services Group. (2006, November). UMTS900 Overview & Deployment Guidelines. San Diego, USA: QUALCOMM Incorporated.
- [20] Ericsson AB. (2007). MAXIMIZING THE NEW SPECTRUM OPPORTUNITY WRC-07 and onwards. 1-11.
- [21] Ericsson. (2009). *Accelerating global development with mobile broadband*. Ericsson.
- [22] Ericsson. (2009). *Technical overview and performance of HSPA and Mobile WiMAX*. Ericsson.
- [23] Holma, H., & Toskala, A. (2009). *LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- [24] ITU (2009). Retrieved 11 04 2009, from International Telecommunication Union: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/>
- [25] Jul/toeb/b, T. (2008, 03 05). Retrieved 08 08, 2009, from Portal Nasional Republik Indonesia: http://www.setneg.ri.go.id/id/index.php?option=com_content&task=view&id=7021&Itemid=695

- [26] Khan, F. (2009). *LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performance*. New York: Cambridge University Press.
- [27] Laiho, J., & Wacker, A. (2009). Radio Network Planning Process and Methods for WCDMA. 3-4.
- [28] Lehne, P. H., & Bøhagen, F. (2008). *OFDM(A) for wireless communication*. Telenor ASA.
- [29] Lloyd-Evans, R. (2002). *QoS in Integrated 3G Networks*. Norwood: ARTECH HOUSE, INC.
- [30] Mar, J., C.-C. K., C.-H. L., & S.-E. C. (2009). CELL PLANNING AND CHANNEL THROUGHPUT OF MOBILE WiMAX AT 2.5 GHZ. *Journal of the Chinese Institute of Engineers* , 586.
- [31] Ministry of IT. (2009). *BROADBAND PENETRATION IN PAKISTAN Current Scenario and Future Prospects*. Ministry of IT.
- [32] Mishra, A. R. (2004). *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimization*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- [33] Nuh, M. (2009, Januari 19). Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika nomor 08/PER/M.KOMINFO/01/2009 tentang Penetapan Pita Frekuensi Radio untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband) pada Pita Frekuensi Radio 2.3 GHz. Jakarta: MENTERI KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA REPUBLIK INDONESIA.
- [34] Pickart, G. (2009). *Broadband Comparison Report for Regions*. Pacific Northwest Economic Region.
- [35] PT. Citra Nusa Cemerlang. (2005, Februari). Data Penduduk per Kabupaten. Jakarta.
- [36] PT. Citra Nusa Cemerlang. (2005, Februari). Pembagian Kategori Wilayah Jabodetabek. Jakarta.
- [37] Rumney, M. (2008). IMT-Advanced: 4G Wireless Takes Shape in an Olympic Year. 2-10.
- [38] S., S., V., K., C., M., & Murugesapandian. (2009). Orthogonal Frequency Division Multiple Access: Is it the Multipple Access System of the Future? 2-6.
- [39] Schoenen, R., Zirwas, W., & Walke, B. H. (2008). Capacity and Coverage Analysis of a 3GPP-LTE Multihop Deployment Scenario. 3.
- [40] Setiawan, D. (2007). BROADBAND WIRELESS ACCESS. *rakernas APJII*

(pp. 10-14). Jakarta: Ditjen Postel-Depkominfo.

- [41] Sokele, M. (2009). Growth Models for the Forecasting of New Product Market Adoption. *Teletronikk* , 144-154.
- [42] Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia. (2009). *PROPOSAL FOR THE NEW MANDATORY STANDARDS ON THE QUALITY OF SERVICE FOR BROADBAND WIRELESS ACCESS SERVICE*. Selangor: The Malaysian Communications and Multimedia Commission.
- [43] Telecom Regulatory Authority of India. (2008). *Status Paper on Broadband Speed*. New Delhi.
- [44] Tellabs. (2009). *Forecasting the Take-up of Mobile Broadband Services*. Tellabs.
- [45] Upase, B., Hunukumbre, M., & Vadgama, S. (2007). Radio Network Dimensioning and Planning for WiMAX Networks. *Fujitsu Science and Technology Journal* , 1-16.
- [46] US BROADBAND COALITION. (2009). *Report of the US Broadband Coalition on a National Broadband Strategy*. Washington, DC.
- [47] Vanier, F. (2007). *World Broadband Statistics*:. London: Point Topic Ltd.
- [48] WiMAX Forum. (2006). *Mobile WiMAX – PartI: A Technical Overview and Performance Evaluation*. WiMAX Forum.
- [50] WiMAX Forum. (2005). *Requirements and Recommendations for WiMAX Forum™ Mobility Profiles*. WiMAX Forum.
- [51] Zhang, Y., & H.-H. C. (2008). *MOBILE WiMAX Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks*. Boca Raton: Auerbach Publications.