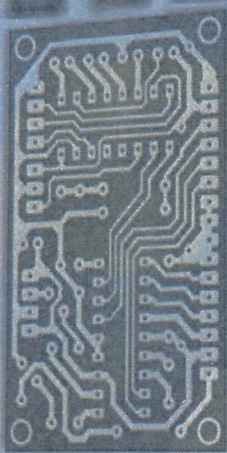




The 2nd National Conference
on Industrial Electrical and Electronics
Cilegon, 18th October 2012

PROCEEDINGS



NCIEE

Susunan Panitia

➤ Penanggung Jawab

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

➤ Pengarah

Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

➤ Ketua Pelaksana

Romi Wiryadinata

➤ Komite Program

- Dr. Eng. Wahyu Widada, M.Sc. (LAPAN)
- Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc. (IPB)
- Prof. Dr. Salama Manjang, M.T. (UNHAS)
- Dr. Alimuddin, M.M., M.T. (UNTIRTA)
- Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T. (UNTIRTA)
- Muhammad Iman Santoso, S.T., M.Sc. (UNTIRTA)

➤ Komite Pelaksana

- Suhendar
- Siswo Wardoyo
- Herudin
- Anggoro Suryo Pramudyo
- Rocky Alfanz
- Rian Fahrizal
- Andri Suherman
- Ri Munarto
- Yeni Apriyeni
- Asisten Laboratorium Teknik Elektro

Diterbitkan oleh:

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jend. Sudirman KM.3 Cilegon, Banten
Phone: 0254-395502, 376712 Fax: 0254-395440
<http://snte.untirta.ac.id> - <http://elektro.ft-untirta.ac.id>

Sambutan Ketua Panitia

Assalamu'alaykum warahmatullah wabarakaatuh

Alhamdulillahirobil'alamin Puji Syukur Kami Panjatkan kehadiran Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan lindungan-Nya, pada kesempatan kali ini kita dapat bertemu pada 2nd National Conference on Industrial Electrical and Electronics (NCIEE) 2012.

Hadirin yang berbahagia, 2nd NCIEE 2012 merupakan seminar nasional yang ke-2 dilaksanakan oleh Jurusan Teknik Elektro FT-Untirta yang insyaAllah akan dilaksanakan rutin setiap 2 tahun sekali.

Pada kesempatan kali ini, ijin kami mengucapkan terima kasih atas sambutan yang luar biasa dari berbagai pihak, tercatat sekitar 40 Penulis telah berpartisipasi untuk menuangkan ide ke dalam bentuk makalah. Demi menjaga kualitas makalah yang akan dipresentasikan sekaligus diterbitkan pada prosiding, maka Panitia telah melakukan blind review terhadap semua makalah yang diterima, berdasarkan hasil review dari tim reviewer, sebanyak 22 Makalah yang dinyatakan diterima untuk dipresentasikan.

Panitia juga sangat berbahagia, karena sambutan terhadap 2nd NCIEE 2012 kali ini tidak hanya muncul dari kalangan akademisi namun juga dari kalangan praktisi. Tulisan atau makalah yang masuk juga sangat bervariasi mulai dari bidang kendali, instrumentasi dan elektronika, telekomunikasi, komputer, maupun ketenagaan.

Hadirin yang terhormat, dengan terselenggaranya NCIEE 2012 ini, Panitia memberikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr.Eng Anto Satrio Nugroho atas kesediaannya untuk menjadi key-note speaker. Ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya juga Panitia haturkan kepada seluruh pihak sehingga acara seminar ini dapat terselenggara seirama dengan milad jurusan Teknik Elektro FT-Untirta yang ke-30.

Demi kesuksesan pelaksanaan 2nd NCIEE 2012 ini, Panitia telah melakukan segala persiapan semaksimal mungkin, meskipun demikian apabila ada kekurangan yang terjadi, Panitia mohon maaf yang sebesar-besarnya. Untuk itu panitia sangat terbuka untuk menerima kritik dan saran yang membangun sebagai masukan untuk NCIEE mendatang. Selanjutnya kami ucapkan terima kasih dan selamat mengikuti 2nd National Conference on Industrial Electrical and Electronics (NCIEE) 2012

Wassalamu'alaykum warrahmatullah wabarakaatuh

Cilegon, 18 Oktober 2012
Ketua Panitia

Romi wiryadinata, M.Eng.

Elektro se-Indonesia sehingga dapat bersinergi dan berkolaborasi melaksanakan riset yang bermanfaat dan menumbuhkembangkan perekonomian, perteknologian, dan pembangunan serta kemandirian bangsa Indonesia.

Kami menyampaikan terima kasih kepada seluruh Dosen & Praktisi, Para Delegasi dan Peserta yang hadir berkontribusi dan berpartisipasi dalam Seminar Nasional NCIEE II Tahun 2012. Penghargaan yang setinggi-tingginya kami sampaikan juga kepada seluruh Panitia Pelaksana dan rekan Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa atas suksesnya acara ini.

Akhirnya kami mohon maaf lahir dan bathin atas segala keterbatasan dan kekurangan terselenggaranya kegiatan ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Cilegon, 18 Oktober 2012

Ketua Jurusan Teknik Elektro,

Suhendar, S.Pd., M.T.

Daftar Isi

Teknologi Biometrics dalam e-KTP Anto Satriyo Nugroho, Dr. Eng	1
Analisa Penerangan Lampu Jalan Kabupaten Aceh Utara Lhoksukon Asri	4
Pengembangan Teknologi Tepat Guna : Penggunaan Kolektor Sel Surya Sebagai Teknologi Pengering Hasil Panen Irnanda Priyadi, Dedi Suryadi, Zulman Efendi	11
Sistem Telemetri Sensor Berbasis Radio Transceiver Dilengkapi Telecommand Pengendali Servo Iwan Tirta, Ri Munarto, Romi Wiryadinata	20
Desain Dan Implementasi Wajan Bolic Untuk Aplikasi Dvb-S Wahyu Pamungkas, Eka Wahyudi, Gilang Aditya Pratama	33
Implementasi Customer Relationship Management Untuk Meningkatkan Keunggulan Bersaing Biro Perjalanan Wisata Haryanto Tanuwijaya	39
Studi Pengukuran Geomagnetic Induced Current (GIC) Akibat Geomagnetic Storm Pada Transformator Daya Ri Munarto, Wahyu Wijayanto	49
Sistem Kendali Stacker Menggunakan PLC Pada Direct Reduction Plant Arya Prasetyo Habibie, Siswo Wardoyo	62
Perancangan Sistem Presensi Dosen Jurusan Teknik Elektro Untirta Menggunakan Radio Frequency Identification (RFID) Berbasis Personal Computer Endi Permata	71
Desain dan Layout Pembangkit Pulsa Clock Non-overlapping untuk ADC Pipeline 1- bit/stage pada Aplikasi Kamera Kecepatan Tinggi Erma Triawati Ch, Hamzah Afandi, Atit Pertiwi	80
Deteksi Gangguan Kualitas Daya Pada Beban Tanur Busur Listrik Menggunakan Transformasi Wavelet Wahyuni Martiningsih, Mochamad Ashari, Adi Soeprijanto	86
Sinyal RF pada sistem Hybrid Fiber Coaxial (HFC) Untuk layanan TV-kabel dan Internet Harumi Yuniarti, Bambang Cholis S.	90
Perancangan Mysql Cluster Menggunakan Mikrotik Rb750 Sebagai Node Database Management Peran Bintang Sihite, M. Iman Santoso, Anggoro Suryo Pramudyo	95

Studi dan Desain Proses Pemilihan Opsi Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio untuk Layanan 4G di Indonesia	104
Umar Ali Ahmad, Heroe Wijanto, Rina Pudji Astuti	
Studi Kelayakan Penerapan Proxy Cache Server Lusca Dan Proxy Cache Server Squid Pada Laboratorium Komputer Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	112
Sendy Lazuardy, Suhendar, Rian Fahrizal	
Kontrol Terintegrasi PSS-AGC Pada Generator Sinkron Untuk Stabilitas Sistem Tenaga Listrik	124
Muhamad Haddin, Soebagio, Adi Soeprijanto, Mauridhi Hery Purnomo	
Perancangan Robot Penjelajah dengan Sistem Skid, Steering Menggunakan Telecommand Sebagai Kendali Manual	129
Frandi Adi Kaharjito, Alimuddin, Romi Wiryadinata	
Perancangan Concurrent Multiband Power Amplifier Kelas E	140
Gunawan Wibisono, Ferri Julianto, Teguh Firmansyah	
Perancangan Mikrostrip Butler Matriks 4 x 4 Untuk Aplikasi Smart Antena	145
Yenniwarti Rafsyam, Nuhung, Teguh Firmansyah	
Pembelokan Roket Di Ujung Launcher	150
Wiganti Takariyadi	
Studi Perancangan Jaringan Komunikasi Serat Optik Dwdm L Band Dengan Penguat Optik Edfa	155
Sri Danaryani, Syamsul El Yumin, Iwan Krisnadi	
Perancangan Antena Mikrostrip Dual Band untuk Aplikasi Wi-LAN & LTE	161
Herudin	

Studi dan Desain Proses Pemilihan Opsi Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio untuk Layanan 4G di Indonesia

Umar Ali Ahmad¹, Heroe Wijanto², Rina Pudji Astuti³

Magister Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom

¹uaa@smbbtelkom.ac.id, ²hrw@ittelkom.ac.id, ³rpa@ittelkom.ac.id

Abstrak — Pemilihan spektrum frekuensi yang tepat untuk teknologi 4G akan membawa manfaat yang signifikan untuk pengembangan infrastruktur nasional. Spektrum frekuensi merupakan sumber daya terbatas, sehingga membutuhkan metodologi tertentu untuk dapat menghitung estimasi kebutuhan spektrum frekuensi di masa yang akan datang. ITU melalui rekomendasinya nomor M.1768 telah mengeluarkan metodologi terbaru untuk penghitungan kebutuhan spektrum frekuensi untuk teknologi 4G (IMT-Advanced), estimasi kebutuhan dihitung berdasarkan market study, parameter switching, dan parameter radio untuk berbagai macam Service Categories (SC), Service Environment (SE), dan Radio Environment (RE) sampai tahun 2020. Hasil studi dari metodologi tersebut, tertuang dalam ITU-R M.2078, dimana perkiraan kebutuhan total spektrum frekuensi di tahun 2020 yaitu sebesar 1280 MHz (low density), 1720 MHz (high density), dan skenario low density sesuai untuk negara negara berkembang seperti Indonesia. Estimasi tersebut menunjukkan terdapat kebutuhan spektrum frekuensi yang cukup besar pada tahun 2020. Untuk itu, frekuensi eksisting dan frekuensi kandidat akan digunakan dalam memenuhi kebutuhan tersebut. Sehingga, penerapan kanalisasi multi operator dengan bandwidth per operator antara 5,10, dan 20 MHz dan spektral efisiensi diatas 8bit/hz akan dicapai throughput maksimal sesuai dengan karakteristik teknologi 4G

Kata kunci — 4G Frekuensi, IMT Advanced, Spektrum Frekuensi

I. Pendahuluan

A. Latar Belakang

Teknologi *wireless* generasi ke-4 atau yang disebut 4G menawarkan layanan-layanan *IP-based voice*, data dan *streaming multimedia* dengan kecepatan dan *quality of experience / quality of service* yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi 3G^[1]. Sesuai dengan rekomendasi ITU-R nomor M.1645, IMT-Advanced dipilih sebagai istilah utama untuk menyebut standarisasi teknologi 4G. Dengan berbagai kemungkinan layanan baru yang membutuhkan *bandwidth* lebih besar, secara otomatis akan meningkatkan kebutuhan dan alokasi spektrum frekuensi untuk masing-masing operator telekomunikasi.

B. Kebutuhan Bandwidht Untuk Layanan 4G

Seperti dikutip dari ^[1], Teknologi 4G memberikan beberapa alternatif dalam pemakaian *bandwidth per channel*, dalam rentang 1,4 - 20 MHz per operator, dengan

efisiensi spektrum tinggi yang sangat baik, yaitu lebih dari 8 bit/Hz. Dengan teknik modulasi dan MIMO terkini yang diterapkan untuk IMT-Advanced memungkinkan didapatkannya efisiensi spektrum yang lebih tinggi, mencapai 10bit/Hz, sehingga *bandwidth per channel* dapat diterapkan secara fleksibel dalam rentang 20-100 MHz. Korelasi antara *bandwidth per channel* dengan *throughput* dapat digambarkan pada tabel 1.

C. Struktur Frame

Kebutuhan *bandwidth* transmisi tidak lepas dari struktur penyusun suatu *Frame* pada 4G, dimana satu *frame* mempunyai panjang durasi 10 ms. Panjang *frame* 10ms dibagi ke dalam 10 *subframe* dengan panjang durasi tiap *subframe* sebesar 1 ms. Setiap satu *subframe* lagi menjadi 2 slot, yang panjang durasi tiap *slot*-nya 0,5 ms. Tiap *slot* terdiri dari 6 sampai 7 simbol OFDM. Di dalam struktur *frame* tersebut terdapat PRB (*physical resource block*) yang merupakan elemen terkecil dari alokasi sumber (*resource*) yang diberikan oleh *base station*, dimana pada

PRB disusun oleh *resource element* dengan lebar *subcarrier* 15 KHz dan durasi satu simbolnya 0.0714 ms [2].

Tabel 1. Korelasi *Bandwidth* dengan *Throughput* [1]

Bandwidth	Throughput (Mbps)
1.4 MHz	12 Mbps
3 MHz	25 Mbps
5 MHz	43 Mbps
10 MHz	86 Mbps
15 MHz	129 Mbps
20 MHz	173 Mbps
100 MHz	~ 1 Gbps

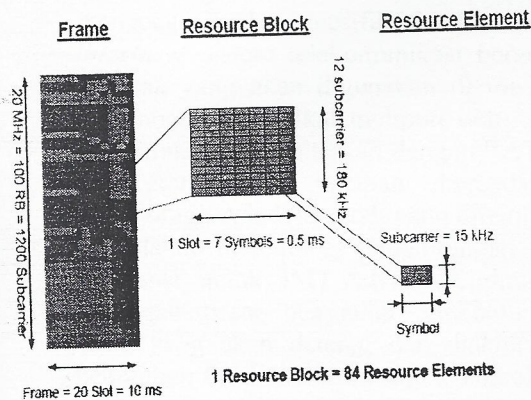
Tabel 2. Parameter OFDM [3]

Transmission BW	1.25 MHz	2.5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	
Sub-frame duration	0.5 ms						
Sub-carrier spacing	15 kHz						
Sampling frequency	192 kHz (12 x 3.84 MHz)	3.84 MHz	7.68 MHz (2 x 3.84 MHz)	15.36 MHz (4 x 3.84 MHz)	23.04 MHz (6 x 3.84 MHz)	30.72 MHz (8 x 3.84 MHz)	
FFT size	128	256	512	1024	1536	2048	
OFDM sym per slot (short/long CP)	7/6						
CP length (usec/ samples)	Short	(4.69/18) x 6 (5.21/10) x 1	(4.69/18) x 6 (5.21/20) x 1	(4.69/36) x 6 (5.21/40) x 1	(4.69/72) x 6 (5.21/80) x 1	(4.69/108) x 6 (5.21/120) x 1	(4.69/144) x 6 (5.21/160) x 1
	Long	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)	(16.67/512)

D. Metodologi Penghitungan Kebutuhan Spektrum (berdasarkan rekomendasi ITU)

Penghitungan kebutuhan spektrum frekuensi untuk teknologi 4G menjadi salah satu bahasan utama dalam pertemuan *World Radio Conference (WRC-07)*, yang diselenggarakan di Geneva, Swiss pada bulan Oktober – November 2007. Kebutuhan spektrum frekuensi, terutama yang akan menjadi dasar dari digelarnya teknologi 4G sudah sejak jauh hari sebelum diterapkannya standar teknologi 4G, sudah menjadi perhatian penting ITU dan diestimasi lebih dini. Dari beberapa gelaran WRC terakhir, penghitungan/ metodologi penghitungan spektrum frekuensi menjadi salah satu topik utama dalam agenda WRC. Metodologi yang dikembangkan untuk mengantisipasi kebutuhan di masa yang akan datang dari perkembangan teknologi berbasis IMT-2000 dan *System beyond IMT-2000* (atau yang lebih dikenal dengan IMT-Advanced).

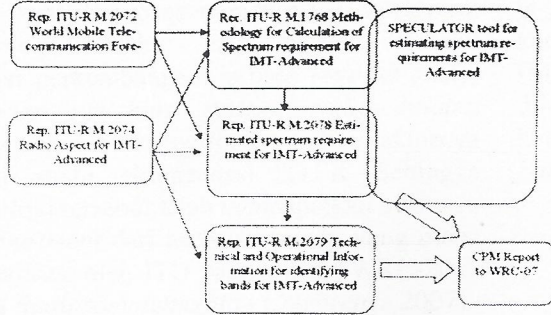
Metodologi baru yang dikeluarkan ITU untuk perhitungan spektrum dirancang untuk dapat mengakomodasi beberapa aplikasi agar mampu memenuhi ekspektasi pasar untuk layanan komunikasi nirkabel pada tahun 2010, 2015, dan 2020. Metodologi yang dibuat cukup komprehensif, dimana dimulai dari prediksi pasar pengguna seluler pada layanan komunikasi *mobile*, dan diakhiri dengan kebutuhan spektrum untuk sistem sebelum IMT, IMT-2000, dan IMT Advanced dalam kurun waktu 2010-2020. Metodologi penghitungan spektrum untuk IMT-Advanced mempertimbangkan seluruh pasar dari layanan nirkabel baik yang berbasis *packet*



Gambar 1. Struktur Frame dan Resource Block

Pada *physical resource block*, untuk domain frekuensi, spasi antar *subcarrier* (Δf) sebesar 15 KHz dan durasi waktu OFDM symbol adalah $1/\Delta f + \text{cyclic prefix}$ berfungsi untuk menjaga keorthogonalan antar *subcarrier*. Pada OFDM satu *resource element*, membawa QPSK, 16QAM atau 64QAM. Pada 64QAM satu *resource element* membawa 6 bit OFDM symbol dikelompokkan menjadi resource block. Satu *resource block* pada OFDM symbol yaitu 180 KHz pada domain frekuensi dan 0,5ms pada domain waktu. Sehingga teknologi 4G mendukung fleksibilitas penggunaan bandwidth, yaitu antara 1,4 – 20MHz, seperti yang terlihat pada table 2 dibawah ini menunjukan besar PRB untuk tiap *bandwidth* operasinya.

based ataupun reservation-based. Secara umum penyusunan metodologi nya sebagai berikut:

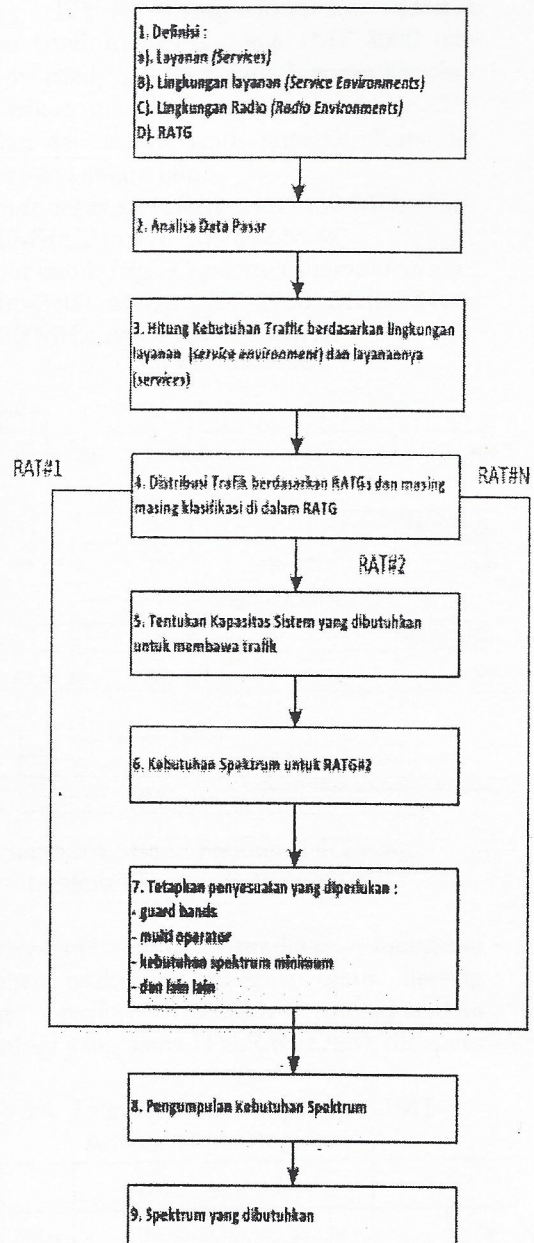


Gambar 2. Diagram Kerja Penyusunan perhitungan spektrum IMT-Advanced, diadaptasi dari^[4]

Menggunakan pendekatan RATGs, pertimbangan teknis untuk estimasi spektrum dapat dengan mudah dilakukan tanpa perlu mengacu pada spesifikasi khusus *radio interfaces* sistem telekomunikasi bergerak saat ini atau yang akan digunakan di masa depan. Pertimbangan teknis meliputi definisi RATG dan parameter radio terkait dengan RATGs yang digunakan pada tahapan berbeda dalam metodologi. Ada 9 langkah yang ditentukan oleh ITU dalam metodologi penghitungan spektrum frekuensi untuk IMT-Advanced, dimulai dari perkiraan pasar pengguna telekomunikasi di masa yang akan datang, dan diakhiri dengan kebutuhan final spektrum untuk teknologi IMT dan turunannya.

Langkah 1: Pendefinisian *Service Categories (SC)*, *Service Environments (SE)*, *Radio Environment (RE)*, dan *Radio Access Technology Groups*. Langkah 2 : Analisa market data, Langkah 3: Penghitungan trafik yang timbul berdasarkan market data yang diberikan, Langkah 4 : Distribusi total trafik dari RE yang berbeda, Langkah 5 : Penghitungan kapasitas sistem dari trafik yang ada (*Reservation-based* dan *Packet Based*), Langkah 6 : kebutuhan spektrum sementara utk IMT-2000 dan IMT-Advanced, Langkah 7 : Penyesuaian (necessary adjustment) dihitung juga untuk network deployment, agregasi jumlah operator, dan Langkah 8,9 diakhiri dengan kebutuhan final Spektrum untuk berbagai system RATG, (Pre-IMT, IMT-2000, future development IMT-2000, dan IMT-Advanced. Diagram alir metodologi

perhitungan kebutuhan spektrum sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram Alir Metodologi Perhitungan Spektrum, diadaptasi dari^[4]

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Prediksi Kebutuhan Spektrum

Berdasarkan metodologi untuk menghitung kebutuhan spektrum IMT-Advanced,

menggunakan tool SPECULATOR (*Spectrum Calculator*), dapat menghasilkan spektrum yang dibutuhkan untuk IMT-Advanced. Adapun jika ditilik kembali proses mendapatkan spektrum, metodologi tersebut lahir setelah melalui berbagai perkembangan proses (*market study, parameter switching system, radio related parameter*), dan masing masing proses akhirnya menjadi suatu rekomendasi ITU-R. Sehingga metodologi tersebut telah mendapatkan evaluasi, dan *adjustment* dari berbagai pihak, yang mana diformalisasi oleh ITU pada sidang WRC-2007 (*World Radiocommunication Conference 2007*).

Pendekatan estimasi kebutuhan spektrum, dihitung berdasarkan "*Global Common Market*" bukan *market* berdasarkan *region per region*, hal ini dikarenakan adanya prinsip *global roaming nature*, dimana secara inheren pasar telekomunikasi per *region* akan tumbuh secara bersamaan. Metodologi tersebut menghasilkan 2 macam skenario, yaitu dengan *Higher User Density Setting*, dan *Lower User Density Setting*, yang dibedakan berdasarkan *timing* pada *mobile market growth* berdasarkan karakteristik negara masing masing. *Higher User Density Setting* dapat digunakan untuk negara negara yang sudah terimplementasi jaringan IMT-2000, dan para pengguna di negara tersebut sudah terbiasa dengan penggunaan aplikasi *broadband*. Sementara untuk *Lower User Density Setting* merujuk pada negara-negara dimana pengembangan jaringan IMT-2000 baru dimulai.

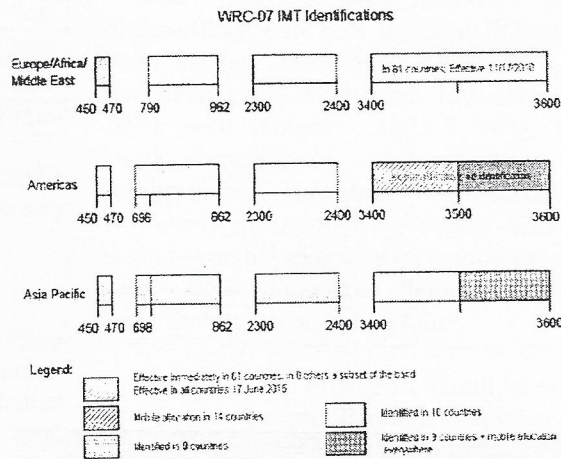
Dari metodologi tersebut, hasil akhir perhitungan estimasi kebutuhan spektrum ditujukan untuk RATG1 (IMT-2000 and its enhancement) dan RATG2 (IMT-Advanced), sehingga didapatkan prediksi kebutuhan spektrum untuk IMT-Advanced secara global di tahun 2010, 2015, dan 2020 antara lain sebagai berikut:

Tabel 3. Prediksi Kebutuhan Spektrum Global (MHz) untuk RATG 1,2

User Density	RATG1			RATG2			Total		
	2010	2015	2020	2010	2015	2020	2010	2015	2020
Lower	760	800	800	0	500	480	760	1300	1280
Higher	840	880	880	0	420	840	840	1300	1720

Dalam laporan ITU-R CPM (*Conference Preparatory Meeting*) yang bisa di unduh pada halaman <http://www.itu.int/md/R07-CPM-R-0001/en>, ITU-R mengindikasikan adanya kandidat band frekuensi untuk IMT-2000 dan IMT-Advanced, dan juga pada laporan tersebut diindikasikan masing masing kekurangan dan kelebihan dari setiap bands tersebut. Kandidat *band* tersebut antara lain :

- *Bands* untuk *Coverage* : 410-430 MHz, 450-470MHz, dan 470-806/862 MHz
- *Band* untuk *High Capacity Communication* : 2300-2400 MHz, 2700-2900 MHz, 3400-4200 MHz, dan 4400-4990MHz.



Gambar 4. Band Frekuensi 4G yang teridentifikasi pada WRC-2007

Sementara untuk prediksi mengenai kebutuhan spektrum frekuensi untuk masing masing *region* (dengan menggunakan metodologi yang sama ITU.R M.1768), didapat :

Tabel 4. Total Kebutuhan Spektrum IMT-Advanced per Region

User demand setting	Predicted total (MHz)	Region 1		Region 2		Region 3	
		Identified (MHz)	Net additional (MHz)	Identified (MHz)	Net additional (MHz)	Identified (MHz)	Net additional (MHz)
Low	1 280	693	587	723	557	749	531
High	1 720	693	1 027	723	997	749	971

Indonesia merupakan negara dengan kategori *user density low*, dimana tahun 2020, total prediksi kebutuhan spektrum yang dibutuhkan untuk menjalankan IMT-Advanced dibutuhkan

total spektrum frekuensi sebesar 1280 MHz. Adapun Jika dibandingkan secara matriks antara kebutuhan, dan total spektrum terpakai eksisting untuk kondisi di Indonesia, dapat digambarkan sebagai berikut :

Tabel 5. Matrik Kondisi Total Spektrum Indonesia untuk IMT-System

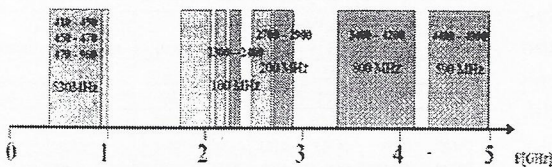
ITU			Region 3 (Indonesia)	
Band	Spectrum	Resolution	Band	Spectrum
806 - 960 MHz	154 MHz	No. 5.317 A, Res. 224	2G 900 MHz	50 MHz
1710 - 1885 MHz	175 MHz	No. 5.384A, Res.223	2G 1700 MHz	67,5 MHz
1885 - 2025 MHz	140 MHz	No. 5.388, Res. 212	2G 1800 MHz	75 MHz
2110 - 2200 MHz	90 MHz	No. 5.388, Res. 212	3G 1800 MHz	30 MHz
2500 - 2690 MHz	190 MHz	No. 5.384A, Res.223	3G 2100 MHz	35MHz
	749 MHz			257.5 MHz

Sehingga dapat disimpulkan, di tahun 2020, Indonesia (L) dengan skenario low user density setting, didapat :

Indonesia (L) : $1280 - 257.5 = 1022.5 \text{ MHz}$

Sehingga diperlukan kebutuhan untuk mendapatkan 1022.5 MHz spektrum tambahan agar dapat mengakomodir kebutuhan total spektrum IMT-Advanced di tahun 2020.

Untuk menjawab hal tersebut, berdasarkan Report ITU-R M.2079 dievaluasi range frekuensi yang cocok untuk memenuhi visi pengembangan masa depan dari Sistem IMT-2000 dan IMT-Advanced.



Gambar 5 : Spektrum Tersedia dari Kandidat Band Frekuensi IMT-Advanced

Masing masing kandidat band frekuensi, mempunyai frekuensi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan spektrum frekuensi IMT-Advanced di tahun 2020. Berdasarkan gambar diatas dapat diidentifikasi besaran spektrum untuk masing-masing band frekuensi antara lain :

- Band 410 – 960 MHz : lebar spektrum 530 MHz
- Band 2300 – 2400 MHz : lebar spektrum 100 MHz
- Band 2700 – 2900 MHz : lebar spektrum 200 MHz
- Band 3400 – 4200 MHz : lebar spektrum 800 MHz
- Band 4400 – 4900 MHz : lebar spektrum 590 MHz

2200 MHz

Total kandidat lebar spektrum yang bisa diidentifikasi dan bisa terpakai di tahun 2020, yaitu selebar 2200 MHz. Adapun kebutuhan tambahan yang dibutuhkan Indonesia di tahun 2020 yaitu sebesar : 1022.5 MHz. Sehingga untuk memenuhi kekurangan tersebut, Implementasi kebutuhan spektrum IMT-Advanced di Indonesia (setelah dibandingkan dengan kondisi eksisting), band-band frekuensi yang cocok digunakan dengan pertimbangan lebar spektrumnya, antara lain :

Tabel 6. Band Frekuensi Kandidat 4G dan Karakteristik Panjang Gelombang

Frekuensi (hz)	Band Allocation	Panjang Gelombang (cm)	Total Panjang Dipole
			$L=0.95 \times \frac{1}{2} \lambda$
698 – 806 MHz	108 MHz	42,9 cm	20 cm
2300 - 2400 MHz	100 MHz	13,0 cm	7 cm
2700 - 2900 MHz	200 MHz	11,0 cm	6 cm
3400 – 4200 MHz	800 MHz	8,8 cm	4 cm
4400 - 4900 MHz	400 MHz	6,8 cm	3 cm

Dari tabel 6, band frekuensi rendah seperti band frekuensi band 698-806 MHz, mempunyai karakteristik panjang gelombang lebih besar dibanding penggunaan band frekuensi tinggi, selain itu, akan berakibat pada dimensi antenna yang cukup besar pada User Equipment (UE), sehingga membutuhkan teknologi canggih untuk menghasilkan material antenna yang mampu menghasilkan efisiensi tinggi (seperti meta material), untuk dapat mengurangi dimensi antenna.

Namun, apabila menggunakan band frekuensi tinggi (seperti band frekuensi diatas

2300 MHz, panjang gelombang yang dihasilkan, dan panjang antenna akan lebih pendek, dibanding penggunaan *band* frekuensi rendah. Namun karena rugi rugi propagasi yang dihasilkan cukup tinggi, untuk itu perlu teknik pengkodean yang lebih canggih dan daya pancar yang lebih besar agar mampu dilewatkan pada band frekuensi tersebut.

Untuk menghasilkan *bitrate* yang diharapkan, merupakan kombinasi dari *bandwidth* operasi dengan modulasi, dan skema MIMO yang dipilih, berikut adalah matriks dari *bitrate* yang dapat dihasilkan dengan menggunakan variasi MIMO (1x1, 2x2, dan 4x4), dan Modulasi (QPSK, 16QAM, dan 64QAM). Dengan memanfaatkan konsep *multicarrier*, mempunyai kapasitas yang lebih besar jika dibandingkan dengan teknologi IMT sebelumnya. Untuk menghitung kapasitas jaringan pada sisi *downlink* dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Peak bitrate [Mbps]} = \text{bit/Hz} \times N_{\text{subcarrier}} \times$$

$$(N_{\text{symbol per subframe}} / 1 \text{ ms})$$

Penggunaan *bandwidth* operasi disesuaikan dengan tipe modulasi dan skema MIMO tertentu, akan menghasilkan *bitrate* adalah sebagai berikut :

Tabel 7 : *Bitrate* dengan *Bandwidth* Operasi, MIMO dan Modulasinya^[2]

MIMO Schemas	Modulation	LTE Downlink Peak Rates (kbits/sec)					
		1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
1 x 1	QPSK	936	2344	4008	7992	11832	15840
1 x 1	16 QAM	1800	4584	7736	15264	22920	30576
1 x 1	64 QAM	4392	11064	18336	36696	55056	75376
2 x 2	QPSK	1872	4688	8016	15984	23664	31680
2 x 2	16 QAM	3696	9168	15472	30528	45840	61152
2 x 2	64 QAM	8784	22128	36672	73392	110112	150752
4 x 4	QPSK	3728	9552	15984	31680	47376	63408
4 x 4	16 QAM	7248	18288	30528	61152	90792	123328
4 x 4	64 QAM	17520	44304	73392	150752	220272	299552

B. Kanalisasi Multi Operator

Pertimbangan pembagian *bandwidth* operasi untuk masing masing operator telekomunikasi harus mempertimbangkan berbagai aspek antara lain : jumlah pelanggan eksisting 3G, target pelanggan baru 4G, jenis layanan yang

ditawarkan, dll. Pertimbangan yang sering digunakan oleh regulator telekomunikasi untuk membagi *bandwidth* operasi yaitu model *uniform* (seragam), dimana dari *band* alokasi yang tersedia, dibagi sama rata untuk masing masing operator telekomunikasi yang beroperasi (contoh : 2x20 MHz, 3x15 MHz, 4x10Mhz). Untuk kasus Indonesia, pertimbangan pembagian *bandwidth* operasi 4G sebaiknya sudah mulai mempertimbangkan model adaptif, dimana pertimbangan yang dapat dipakai yaitu melihat pada pengguna IMT-2000 eksisting (pelanggan 3G), dan prediksi pengguna IMT-Advanced, hal ini untuk memudahkan *co-existence* antara teknologi IMT yang digunakan dalam operator telekomunikasi tersebut.

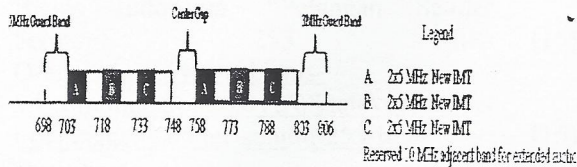
Jika dilihat dari profil sebaran pelanggan telekomunikasi seluler yang ada di Indonesia saat ini, pada Quarter I tahun 2012, sebarannya adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Total pelanggan seluler (IMT-System) Indonesia Q1-2012^[5]

Jumlah Total Pelanggan IMT Indonesia (Q1 2012)		Telkomsel	Indosat	XL	AXIS	3-HCPT
241,500,000	Jumlah Pelanggan	110,000,000	52,100,000	46,400,000	17,000,000	16,000,000
	Persentase	45.55	21.57	19.21	7.04	6.63

Model adaptif, penulis usulkan sebagai model perencanaan cadangan spektrum optimal pada suatu *band* frekuensi yang akan dilelang. Sebagai contoh, berdasarkan rekomendasi ITU untuk penerapan 4G pada region 3 (*asia pacific*) pada 700 MHz, maka berada pada rentang 698-806 MHz^[6]. Terdapat 108 MHz band alokasi yang tersedia. Namun alokasi *bandwidth* yang dapat digunakan adalah 45 MHz FDD dengan *guard band* 5 MHz pada 698-803 MHz, dan *center gap* yang tidak dapat dipakai sebesar 10 MHz, dan *guard band* 3 MHz pada 803-806^[7]. Dengan demikian, apabila band frekuensi ini akan dilelang, untuk *contiguous reserve* di kemudian hari, pada pelelangan pertama, dapat dilakukan kanalisasi uniform (misal masing-masing 5MHz), lalu disediakan *reserved* band setelah *upper band* Operator A (sebagai contoh 5-10MHz).

Untuk operator selanjutnya, Operator B, *lower band* dimulai setelah alokasi *reserved*, dengan mekanisme seperti ini, apabila operator yang paling potensial mendapatkan jumlah pelanggan paling banyak, disediakan *reserved band* yang cukup lebar dibanding operator yang memiliki jumlah pelanggan lebih sedikit, sehingga untuk kebutuhan *extend band* frekuensi dimasa yang akan datang, akan tetap *contiguous*. Ilustrasi mekanisme kanalisasi multi operator band frekuensi 698-806 MHz dengan pengaturan *reserved* dapat dilakukan pembagian sebagai berikut :



Gambar 6. Alokasi *Reserved Band* untuk *Extended Band Contiguous*

Tabel 9 Alokasi *Reserved Band* untuk *Extended Band Contiguous*

Operator	Band	Ext. Band
Opr. A	703-708 MHz FDD	708-718 MHz FDD
Opr. B	718-723 MHz FDD	723-733 MHz FDD
Opr. C	733-738 MHz FDD	738-748 MHz FDD

III. PENUTUP

Dari hasil studi yang dilakukan tentang kebutuhan spektrum frekuensi untuk layanan 4G (IMT-Advanced) menggunakan rekomendasi ITU-R M.1645 perihal metodologi perhitungan kebutuhan spektrum frekuensi untuk IMT-Advanced, yang mana hasilnya dituangkan dalam report ITU-R M.2078, di tahun 2020, terdapat kebutuhan spektrum untuk Negara dengan *lower market setting* (Negara berkembang seperti Indonesia) sebesar 1280 MHz, yang merupakan total kebutuhan spektrum *coexistence* diantara semua kebutuhan

spektrum IMT-System (IMT-2000 dan IMT-Advanced). Di tahun 2012, berdasarkan TASFRI (Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi di Indonesia) terdapat total 257.5 MHz spektrum yang telah terpakai untuk IMT dan IMT-2000 di Indonesia. Untuk mempersiapkan sisa kebutuhan spektrum tersebut sebesar yaitu sebesar 1022.5 MHz yang bisa didapatkan dari kandidat spektrum frekuensi IMT-Advanced berdasarkan CPM Report WRC 2007 [6] yaitu pada band kandidat antar lain :

- 410-960 MHz
- 2300 – 240 MHz
- 2700 – 2900 MHz
- 3400 – 4200 MHz
- 4400 – 4900 MHz

Secara linier, dapat dengan mudah memilih spektrum frekuensi kandidat tersebut untuk dijadikan dasar pemilihan spektrum frekuensi 4G di Indonesia, hanya saja, perlu banyak pertimbangan antara lain : tidak semua band frekuensi tersebut tersedia bebas, dimana beberapa band saat ini telah dipakai untuk layanan komunikasi lainnya seperti TV Analog, Radio Maritim, Aeronautika, dan aplikasi radio lainnya. Sehingga membutuhkan pertimbangan yang cukup matang baik dari sisi alokasi maupun dari karakteristik teknologi, sebagai contoh pertimbangan panjang gelombang, jarak antenna, propagasi, power dan dimensi dari perangkat yang bekerja pada band frekuensi tersebut.

Langkah selanjutnya, setelah ditentukan kandidasi band frekuensi yang dapat dipilih untuk spektrum frekuensi 4G, yaitu mekanisme pembagian atau kanalisasi multi operator. Kanalisasi dapat dilakukan dengan melihat karakteristik *bandwidth* operasi dan *bitrate* yang diharapkan. Dengan memadukan teknologi modulasi dan skema MIMO terkini, pertimbangan lebar bandwidth per operator telekomunikasi dapat ditentukan secara optimal.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Depkominfo RI, *Whitepaper Studi Group Alokasi Pita Frekuensi Radio Untuk Komunikasi Radio Teknologi Ke Empat*, Dirjen Postel, Jakarta, 2011

- [2] Uke Kurniawan Usman, Galuh p, et.all "Fundamental Teknologi Seluler LTE", Informatika, Bandung, 2011
- [3] Raymaps, "LTE Physical Layer Parameter", viewed on 29 June 2012, <http://www.raymaps.com/index.php/ber-of-64-qam-ofdm-in-fading/lte_basics-2/>
- [4] H. Takagi, H. Yoshino, N. Matoba, and M. Azuma, "Methodology for Calculation of Spectrum Requirements for the Next Generation Mobile Communication Systems," *IEICE Trans.on Communications*, vol. J89-B, no. 2, Feb. 2006, pp. 135-142
- [5] Bisnis Indonesia, "Pelangan Seluler Sentuh 255 juta Orang"<<http://www.bisnis-kti.com/index.php/2012/05/telekomunikas-i-pelanggan-seluler-sentuh-255-juta-orang>>
- [6] Conference Preparatory Meeting "CPM Report on Technical Operational and Regulatory/Procedural Matters to be Considered by the 2007 World Radiocommunication Conference", ITU, Geneva, 2007
- [7] APT Wireless Forum Meeting Report, "Harmonised Frequency Arrangements for the Band 698-806 MHz", Seoul, Korea, 13-16 September 2010
- [8] Radio Electronics, "LTE Frequency Bands & Spectrum Allocation", Viewed 29 May 2012, <<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lt-e-long-term-evolution/lte-frequency-spectrum.php>>
- [9] ITU-R Recommendation Number M.2072 : "World Market Data" [viewed on 30th November 2011]
- [10] Irnich T A, "New Methodology for Spectrum Requirement prediction of Wireless Communication Systems" Phd Thesis, RWTH Aachen University, Germany, 2008
- [11] Uwe Lowenstein, "Mobile Broadband Spectrum Requirement for IMT-Advanced (4G) Network", 4G International Forum, Taipei, 2010
- [12] Matinmikko M, "Estimation of Spectrum Requirements of IMT-Advanced System" Licentiate Thesis, Department of Electrical and Information Engineering, University of Oulu, Finland, p.118, 2007
- [13] Erik Ekudden, "LTE, IMT-Advanced and Spectrum Aspect", LM Ericsson, Washington D.C, 2009.
- [14] Ismail, Suhono H. Supangkat, et.al,"Perhitungan Pola Efisiensi Penggunaan Spektrum Frekuensi Menggunakan Pendekatan Tekno Ekonomi Untuk Layanan Seluler di Indonesia" Proceeding on e-Indonesia Initiative 2009, Konferensi dan Temu Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi Untuk Indonesia, Bandung, Juni 2009
- [15] James Seymour, "The Path to 4G: LTE and LTE Advanced", Alcatel Lucent, 4G World, Chicago, 2010
- [16] Woo Ghee Chung, et-al, "Calculation of Spectral Efficiency for Estimating Spectrum Requirements of IMT Advanced in Korean Mobile Communication Environments" ETRI Journal, Vol 29, Number 2, 2007
- [17] ITU-R M. 2078 "Estimated spectrum bandwidth requirement for the future development of IMT-2000 and IMT-Advanced" ITU, 2006