



# Sinusoida

Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Elektro



- *Analisa Pencegahan Looping Pada Service VPLS Jaringan Metro Ethernet*  
**Mufl Gafar dan Kurnia Agung P.**
- *Model Perencanaan Broadband Wireless Access (BWA) Berbasis Teknologi Long Term Evolution (LTE) Pada Frekuensi 2.3 Ghz*  
**Irmayani dan Denny Saputra**
- *Perencanaan dan Implementasi Transmisi Radio Link 3G Antara Seibu – Jamsostek*  
**Heru Abrianto dan Ahmad Affandy**
- *Deteksi Tumor Otak Berdasarkan Citra magnetic Resonance Imaging (MRI)*  
**Rachman Soleman dan Veria Hadi**
- *Perencanaan Sistem Backbone Radio Link Microwave 8 GHz Antara MGW Manado – Desa Koha*  
**M Hamdani dan Aloysius Jehalus**
- *Perencanaan Jaringan MAN Menggunakan Routing Protokol EIGRP pada Router Cisco 2800 Series*  
**Djoko suprijatmono dan Rois Saputro**
- *Teknik Transmisi Adaptive Mimo untuk Komunikasi Wireless Broadband*  
**Sofia Pinardi**
- *Analisis Implementasi Interface Over IP Pada Jaringan GSM Di Tinjau Dari Sisi Core Network*  
**Edy Supriyadi dan Gugum Gumilar**
- *Detektor Kebocoran Gas Elpiji Dikontrol Dengan Atmega 16*  
**Surya Alimsyah dan Saifur Rohman**
- *Perbaikan Kinerja GSM 2G Dengan Metode Initial Tuning*  
**S. El Yumin dan MB. Manullang**
- *Studi Perencanaan Suplai Daya Listrik Pada Saat Terjadi Gangguan*  
**Sugianto dan Moh. Asrul Rizki**



# Sinusoida

Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Elektro

## DAFTAR ISI

		Halaman
1.	Analisa Pencegahan Looping Pada Service VPLS Jaringan Metro Ethernet Mufti Gafar dan Kurnia Agung Priantama .....	1 – 12
2.	Model Perencanaan Broadband Wireless Access (BWA) Berbasis Teknologi Long Term Evolution (LTE) Pada Frekuensi 2.3 GHz Irmayani dan Denny Saputra .....	13 – 25
3.	Perencanaan dan Implementasi Transmisi Radio Link 3G Antara Seibu – Jamsostek Heru Abrianto dan Ahmad Afandy .....	26 – 36
4.	Deteksi Tumor Otak Berdasarkan Citra Magnetic Resonance Imaging (MRI) Rachman Soleman dan Veriah Hadi .....	37 – 48
5.	Perencanaan Sistem Backbone Radio Link Microwave 8 GHz Antara MGW Manado-Desa Koha M. Hamdani dan Aloysius Jehalus .....	49 – 60
6.	Perencanaan Jaringan MAN Menggunakan Routing Protokol EIRGP Pada Router Cisco 2800 Series Djoko Suprijatmono dan Rois Saputro .....	61 – 77
7.	Teknik Transmisi Adaptive Mimo Untuk Komunikasi Wireless Broadband Sofia Pinardi.....	77 – 84
8.	Analisis Implementasi a Interface Over IP pada Jaringan GSM Ditinjau Dari Sisi Core Network Edy Supriyadi dan Gugum Gumilar .....	85 – 98
9.	Detektor Kebocoran Gas Elpiji Dikontrol dengan Atmega 16 Surya Alimsyah dan Saifur Rohman .....	99 – 107
10.	Perbaikan Kinerja GSM 2G Dengan Metode Initial Tuning S. El Yumin dan MB. Manullang .....	108 – 115
11.	Studi Perencanaan Suplai Daya Listrik Pada Saat Terjadi Gangguan Sugianto dan Moh. Asrul Rizki .....	116 – 122

Diterbitkan oleh :  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains dan Teknologi Nasional

# Sinusoida

Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Elektro

## SUSUNAN REDAKSI

- Penanggung Jawab : Dekan FTI-ISTN
- Pemimpin Redaksi : Ketua Program Studi Teknik Elektro
- Dewan Redaksi : Ir. Abdul Multi, MT  
Ir. Adib Chumaidy, MT  
Ir. Nasrun Lubis, MT.  
Ir. Moh. Amir, MT.  
Ir. Enang Permana Saputra
- Mitra Bestari : Dr. Ir. Agus Priyono  
Dr. Ir. Hamzah Hilal, MSc  
Dr. Ir. Masbach, M.Eng.  
Dr. Ir. Taswanda, MSc
- Redaksi pelaksana : Ir. Iwan Hernawan MT  
Ir. Puji Utomo

## PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT Bahwasanya Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Sinusoida FTI-ISTN Edisi kali ini yaitu Volume XIII, No.2, Oktober 2012, dapat diterbitkan dengan berisikan 12 tulisan yang dari para dosen Program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN.

Adapun tulisan yang diterbitkan pada edisi ini adalah Analisa Pencegahan Looping Pada Service VPLS Jaringan Metro Ethernet, Model Perencanaan Broadband Wireless Acces Berbasis teknologi Long Term Evolution Pada Frekuensi 2.3 GHz, Perencanaan dan Implementasi Transmisi Radio Link 3G Antara Seibu-Jamsostek, Deteksi Tumor Otak Berdasarkan Citra Magnetik Resonance Imaging, Perencanaan Sistem Backbone Radio Link 8 GHz Antara MGW Manado-Desa Kota, Perencanaan Jaringan MAN Menggunakan Routing Protokol EIRGP Pada Router Cisco 2800 Series, Teknik Transmisi Adaptive Mimo Untuk Komunikasi Wireless Broadband, Analisis Implementasi a Interface Over IP pada Jaringan GSM Ditinjau Dari Sisi Core Network, Detektor Kebocoran Gas Elpiji Dikontrol dengan Atmega 16, Perbaikan Kinerja GSM 2G Dengan Metode Initial Tuning, Studi Perencanaan Suplai Daya Listrik Pada Saat Terjadi Gangguan

Dengan diterbitkannya Journal Sinusoida ini, redaksi mengharapkan agar para dosen program studi Teknik Elektro dapat lebih bergairah lagi untuk menulis karyanya demi kemajuan perkembangan teknik elektro dimasa datang.

Akhirnya kepada semua pihak yang telah turut membantu hingga diterbitkannya journal sinusoida edisi ini, kami mengucapkan banyak terima kasih.

## Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jl. M Kahfi II Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa  
Jakarta 12640 Telp 021-7270091, 7872071  
Fax 021-7874964 e-mail sinusoida\_istn@hotmail.com

Redaksi menerima sumbangan makalah berupa artikel, hasil penelitian atau karya ilmiah yang belum pernah dan tidak akan dipublikasikan di media lain. Naskah sudah harus diterima redaksi 4 (empat) minggu sebelum diterbitkan Terbit dua kali setahun, pada bulan April dan Oktober.

# MODEL PERENCANAAN BROADBAND WIRELESS ACCESS (BWA) BERBASIS TEKNOLOGI LONG TERM EVOLUTION (LTE) PADA FREKUENSI 2.3 GHz

Irmayani dan Denny Saputra

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri

Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta

Email : [ir.irmayani@istn.ac.id](mailto:ir.irmayani@istn.ac.id)

## ABSTRACT:

An opportunity for LTE implementation in Indonesia arose when the government released a regulation of 2,3 GHz frequency allocation which is used for Fixed Broadband of Broadband Wireless Access (BWA). Operators were allowed to implement it by neutral technology, and LTE is one of the options. This paper provide planning model of broadband wireless access based on LTE in 2.3 GHz frequency.

The model based on type of services and type of implemented area, aimed to calculate the capacity needed by customer, which will be projected to the cell capacity and coverage of LTE eNodeB as 3GPP2 standardization, using 5 MHz and 10 MHz band-with channel. Bandung had been choosing as an implementation case study for this planning model.

The result of this planning model show that the number of LTE eNode B can cover all area of Bandung with all of potential market customer using various type of service, and the result of planning model show that it's optimal for 5 years plan in term of utilization and LTE network capacity.

**Keywords:** LTE, BWA,

## 1. PENDAHULUAN

Peluang implementasi teknologi *Long Term Evolution* (LTE) di Indonesia terbuka dengan terbitnya keputusan pemerintah tentang alokasi frekuensi 2.3 GHz yang digunakan untuk layanan *Fixed Broadband Wireless Access* (BWA). Operator diijinkan untuk melakukan implementasi dengan teknologi netral, dengan LTE sebagai salah satu opsinya. Pada makalah ini dibuat model perencanaan *broadband wireless access* (BWA) yang berbasis teknologi *Long Term Evolution* (LTE).

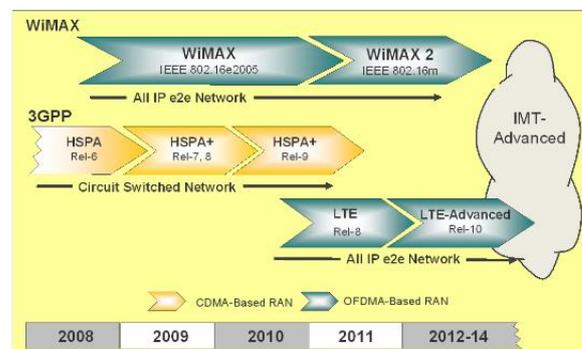
Model perencanaan didasarkan pada tipe layanan yang akan diberikan kepada pelanggan dan tipe area yang akan diimplementasi untuk kemudian dihitung kebutuhan *bandwith* pelanggan dan di proyeksikan pada kapasitas sel dan area cakupan eNodeB LTE sesuai dengan standard 3GPP2, pada lebar kanal 5 MHz dan 10 MHz. Kota Bandung dipilih sebagai studi kasus perencanaan..

## 2. LANDASAN TEORI

### a. Long Term Evolution (LTE)

3GPP *Long Term Evolution* atau yang biasa disingkat LTE adalah sebuah standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi yang berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA. LTE dikembangkan oleh 3GPP (*Third Generation Partnership Project* atau 3G berbasis GSM). Disisi lain 3GPP2 juga mengembangkan 3G berbasis CDMA. LTE juga merupakan bagian dari *roadmap* standar 3GPP2, namun bukan merupakan evolusi dari CDMA. Sesuai dengan sifatnya sebagai 4G, LTE akan menjadi *all IP-based network*. LTE (*Long Term Evolution*) atau biasa juga disebut SAE (*System Architecture Evolution*) yang akan

menggeser kemampuan 3G. Dalam akses data, LTE jauh melebihi generasi-generasi sebelumnya, bahkan standar spesifikasi kecepatan datanya sampai 100 Mbps pada arah *downlink*.



Gambar 1. Road Map WIMAX dan 3GPP

Secara ringkas LTE menawarkan beberapa keunggulan dan keuntungan bagi pelanggan dan pihak operator jaringan, yaitu :

1. Efisiensi spektrum dan *throughput* yang tinggi, LTE menggunakan OFDM pada arah *downlink*, dimana teknik ini tahan terhadap interferensi akibat lintasan jamak dan menggunakan *single-carrier- FDMA* (SC-FDMA) pada arah *uplink* yang memiliki *peak average power ratio* (PAPR) rendah. Selain itu LTE juga mendukung antenna *multiple input multiple output* (MIMO) yang dapat meningkatkan BER dan *bit rate*.

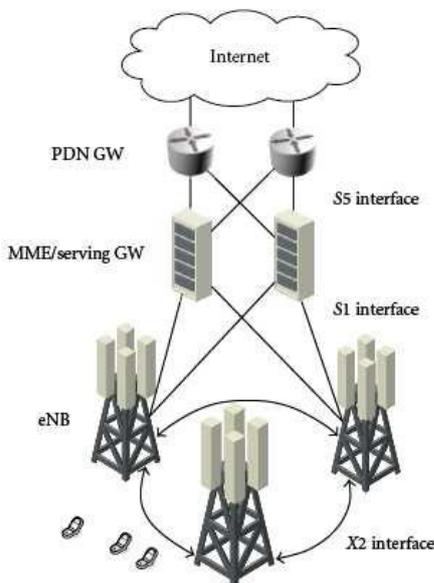
- latency yang rendah, jaringan LTE memiliki *setup time* dan *transfer delay* yang sangat rendah, serta waktu *handover* yang rendah.
- Mendukung bandwidth yang bervariasi, yaitu 1.4, 3, 5, 10, 15 and 20 MHz.
- Memiliki arsitektur jaringan yang sederhana, hanya ada eNodeB pada *evolved UMTS terrestrial radio access* (E-UTRAN).
- Kompatibel dengan teknologi 3GPP sebelumnya dan teknologi lainnya.
- Mendukung *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD).

Tabel 2.1 Perbandingan LTE dengan teknologi 3G

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE
Max downlink speed bps	384 k	14 M	28 M	100M
Max uplink speed bps	128 k	5.7 M	11 M	50 M
Latency round trip time approx	150 ms	100 ms	50ms (max)	~10 ms
3GPP releases	Rel 99/4	Rel 5 / 6	Rel 7	Rel 8
Approx years of initial roll out	2003 / 4	2005 / 6 HSDPA 2007 / 8 HSUPA	2008 / 9	2009 / 10
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA / SC-FDMA

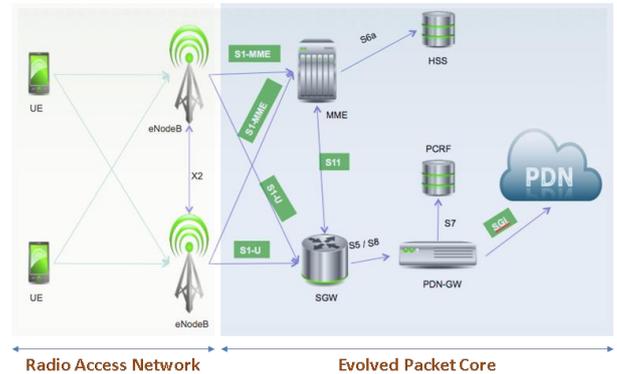
### b. Arsitektur Long Term Evolution

Arsitektur jaringan LTE dirancang untuk tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *quality of service* (QoS), dan *latency* yang kecil. Pendekatan *packet switching* ini memperbolehkan semua layanan termasuk layanan *voice* menggunakan koneksi paket. Oleh karena itu pada arsitektur jaringan LTE dirancang sesederhana mungkin, yaitu hanya terdiri dari dua *node* yaitu eNodeB dan *mobility management entity/gateway* (MME/GW). Hal ini sangat berbeda dengan arsitektur teknologi GSM dan UMTS yang memiliki struktur lebih kompleks dengan adanya *radio network controller* (RNC).



Gambar 2 Arsitektur Long Term Evolution

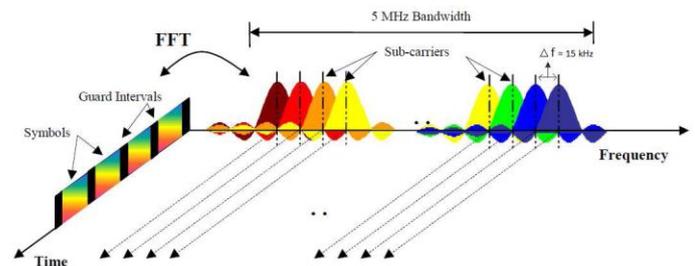
Dalam implementasinya secara garis besar jaringan LTE terbagi atas jaringan radio akses (*radio access network*) dan *core network* (*evolved packet cor*) seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Radio Access network dan Core Network

### c. OFDMA dan SC-FDMA resource structure

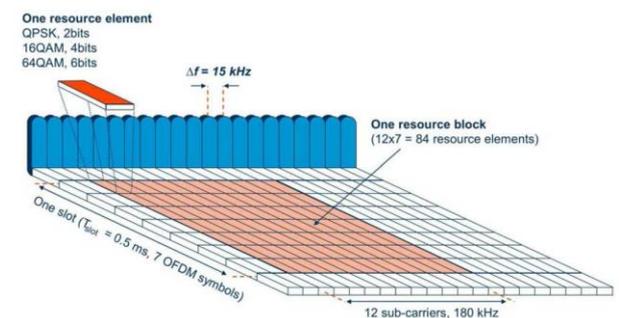
OFDMA dianggap sebagai teknik yang paling tepat untuk mendapatkan efisiensi spektrum frekuensi pada sisi *downlink* [1].



Gambar 4 Ilustrasi teknik OFDM pada lebar kanal 5 Mhz [2]

Dari Gambar 4 pada domain frekuensi, *bandwith* 5 Mhz dibagi menjadi sejumlah subkarir orthogonal yang jaraknya berdekatan dan konstan. Jarak antar subkarir  $\Delta f$  sebesar 15 Khz. Pada teknologi LTE skema modulasi bisa menggunakan QPSK, 16 QAM dan 64 QAM.

OFDMA menggunakan banyak subkarir yang dipergunakan untuk transmisi multi karir. Pada dasarnya lapisan fisik dari LTE yang dipergunakan dapat dilihat sebagai matrik waktu – frekuensi yang disebut *resource blok*, yang didalamnya terdiri atas bagian lebih kecil yang disebut *resources element*, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Lapisan fisik OFDM baik untuk TDD maupun FDD [5]

Pada domain frekuensi LTE mempunyai jarak antar subkarir  $\Delta f$  sebesar 15 kHz. Untuk setiap simbol OFDM, *cyclic prefix* (CP) ditambahkan sebagai waktu pembatas (*guard time*), sehingga durasi satu simbol OFDM adalah penjumlahan dari  $1/\Delta f + \text{cyclic prefix}$  (CP). Sebuah resource element dapat membawa modulasi QPSK, 16QAM atau 64QAM dengan jumlah bit yang berbeda. Simbol OFDM yang terdapat pada *resource element* disatukan dalam *resource blocks*, dimana *resource block* adalah alokasi *bandwidth* terkecil yang dijadwalkan oleh *base station*.

Jumlah *resource block* untuk beberapa lebar kanal diperlihatkan pada Tabel 2. Pada Tabel 3 memperlihatkan struktur *frame* dalam kaitannya dengan *cyclic prefix* (CP).

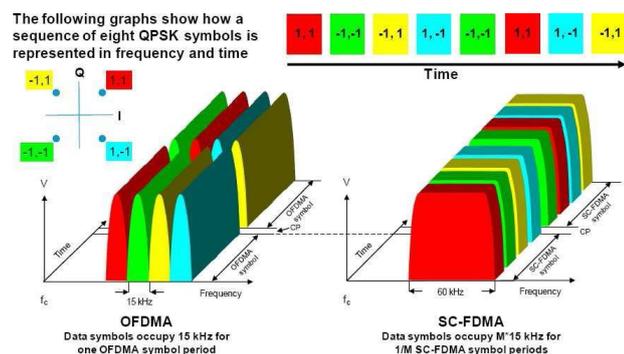
Tabel 2 Jumlah resource block pada beberapa lebar kanal [6]

Channel bandwidth [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Number of resource blocks	6	15	25	50	75	100

Tabel.3 Struktur Frame LTE dengan CP Normal dan extended [7]

Configuration	Resource block size $N_{RB}^{DL}$	Number of symbols $N_{symb}^{DL}$	Cyclic Prefix length in samples	Cyclic Prefix length in $\mu s$
Normal cyclic prefix $\Delta f = 15 \text{ kHz}$	12	7	160 for first symbol 144 for other symbols	5.2 $\mu s$ for first symbol 4.7 $\mu s$ for other symbols
Ext. cyclic prefix $\Delta f = 15 \text{ kHz}$	12	6	512	16.7 $\mu s$

Pada sisi *uplink* 3GPP memilih teknologi SC-FDMA karena memiliki *Peak-To-Average Power Ratio* (PAPR) yang lebih rendah dibandingkan dengan OFDMA. PAPR yang tinggi pada OFDMA mengakibatkan daerah cakupan yang kurang baik di sisi *uplink*. Hal inilah yang menjadi alasan pemilihan SC-FDMA untuk sisi *uplink*. Pada sinyal SC-FDMA simbol data disebar pada seluruh subkarir yang membawa informasi dan seolah membentuk sinyal karir tunggal. Gambar 6 menunjukkan perbedaan antara OFDMA dan SC-FDMA.



Gambar 6 Perbedaan OFDMA dan SC-FDMA [4]

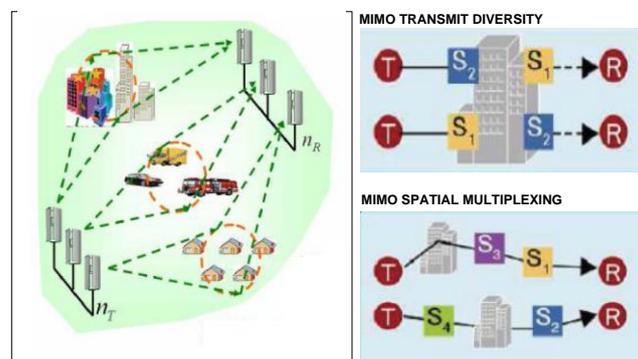
### d. Teknologi MIMO

*Teknologi Multiple Input Multiple Output* (MIMO) adalah salah satu hal penting dalam LTE untuk memenuhi persyaratan kapasitas dan efisiensi spektrum [2]. MIMO mengacu pada penggunaan beberapa antenna pada sisi

pengirim (Tx) dan penerima (Rx). Pada LTE arah *downlink* konfigurasi MIMO 2x2 adalah konfigurasi dasar yang digunakan. 2x2 berarti menggunakan dua antenna pengirim pada sisi *base station* dan dua antenna penerima di sisi terminal pelanggan.

Ada dua mode yang digunakan dalam MIMO, yakni *spatial multiplexing* dan *transmit diversity*. Pada mode *spatial multiplexing* data yang berbeda dapat dikirimkan secara simultan melalui *resource block(s)* yang sama dengan memanfaatkan ruang yang ada pada kanal radio, sehingga akan meningkatkan kapasitas [2].

Mode lainnya adalah mode *transmit diversity*, setiap antenna pengirim akan membawa data yang sama sehingga penerima akan menerima sinyal yang sama seperti di pengirim. Mode *transmit diversity* akan meningkatkan *coverage* dan QOS. Karena dikirimkan melalui antenna yang sama, menyebabkan SNR pada sisi penerima akan naik khususnya pada kondisi *fading*. Pada model perencanaan ini digunakan mode *spatial multiplexing* untuk menghitung kapasitas LTE. Gambar 7. mengilustrasikan mode *spatial multiplexing*.



Gambar 7 MIMO Transmit diversity dan Spatial multiplexing

### e. Alokasi frekuensi LTE

LTE didefinisikan untuk dapat beroperasi di berbagai pita frekuensi yang berbeda, di masing-masing pita frekuensi satu atau lebih operator independen dapat beroperasi. Pita frekuensi yang digunakan ditentukan oleh regulasi di masing-masing negara, serta kesiapan dan ketersediaan perangkat LTE di pasar, hal akan turut berpengaruh pada faktor bisnis saat di implementasikan. Perangkat LTE harus dapat beroperasi pada rentang frekuensi sampai dengan 2500 MHz.

Di Indonesia dengan adanya keputusan pemerintah tentang implementasi teknologi netral sebagai solusi *broadband wireless access* (BWA) pada frekuensi 2.3 Ghz, membuka peluang diimplementasikannya LTE pada pita frekuensi tersebut. Setiap pemenang tender pita BWA 2.3 Ghz memperoleh alokasi lebar pita 15 MHz. Namun demikian untuk keperluan penyelenggaraan komunikasi bergerak seluler pemerintah belum menetapkan pita mana yang akan dialokasikan. Pada Gambar 8 berikut dapat dilihat pita frekuensi yang digunakan di beberapa wilayah di dunia.



- **Retail**  
Pelanggan yang menggunakan akses komunikasi data untuk keperluan pribadi dan rumah tangga, dengan penggunaan terbatas pada keperluan pribadi atau komersial secara terbatas.
- **SME ( Small Medium Enterprise )**  
Pelanggan yang menggunakan akses komunikasi data sebagai fasilitas dalam menjalankan usahanya yang bersifat komersil maupun non komersil. Dengan intensitas penggunaan yang lebih rutin dan terjadwal.

Pada model perencanaan ini digunakan faktor *overbooking* (OB) kepada setiap kriteria pelanggan. Penerapan *overbooking* berfungsi untuk optimalisasi penggunaan dan perencanaan kapasitas jaringan, dikarenakan tidak semua pelanggan yang terdaftar mengakses pada saat yang bersamaan. *Comitted information Ratio* (CIR) adalah *data rate* yang dijamin oleh operator bagi setiap pelanggan pada saat semua pelanggan melakukan akses, sementara *peak information ratio* (PIR) adalah *data rate* maksimum yang didapatkan oleh masing – masing pelanggan. Nilai PIR ini biasanya dijadikan sebagai layanan yang ditawarkan kepada calon pelanggan dengan spesifikasi “*bandwith up to* kapasitas PIR”.

Tipe layanan yang akan diberikan adalah seperti pada Tabel 4. Pelanggan retail diasumsikan memiliki tipe layanan dengan data rate 2 Mbps dengan batas pemakaian sebesar 5 GB per pelanggan per bulan, sementara untuk pelanggan SME diasumsikan memiliki data rate 5 Mbps dengan batas pemakaian 10 GB perbulan. Nilai CIR pelanggan retail adalah 1:40 sementara pelanggan SME 1:10.

Tabel 4. Tipe layanan dan pelanggan

Tipe Pelanggan	Tipe Layanan			
	Trafik Usage (GB)	OB	Data Rate ( Kbps )	
			CIR	PIR
Retail	5	1:40	51.2	2048
SME	10	1:10	512	5120

Potensi pengguna (*subscriber*) di kota Bandung, dari hasil survey frontier [17], secara total berjumlah 101,341 *subscriber* dengan tingkat pertumbuhan pertahun mencapai 12,3% [19]. Kebutuhan *bandwith* perencanaan berdasarkan tipe layanan dan potensi pelanggan dapat dicari dengan formula sebagai berikut :

$$Bandwith = \frac{\sum Potensi\ pelanggan \times PIR \times OB}{OB \times (1 + \gamma)^{n-1}} \quad (3.1)$$

Dimana :

- $\gamma$  = Penetrasi internet pertahun (12,3 % )
- PIR = *Peak information ratio*
- OB = *Over Boking*
- n = tahun ke n

#### d. Parameter transmisi dan distribusi skema modulasi

Dalam perencanaan, parameter transmisi yang digunakan mengacu kepada standar 3GPP *release* 8 dan

regulasi BWA 2.3 Ghz adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter transmisi perencanaan LTE

Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	2300 Mhz
Lebar Pita	5,10 Mhz
Sub-carrier Spacing	15 kHz
Cyclic Prefix	Normal/Short
Teknik Modulasi	DL : OFDMA UL : SC-FDMA
Modulation & Coding Scheme ( MCS )	QPSK 1/8, QPSK 1/5, QPSK 1/4, QPSK 1/3, QPSK 1/2, QPSK 2/3, QPSK 4/5, 16 QAM 1/2, 16QAM 2/3, 16 QAM 4/5, 64 QAM 2/3, 64 QAM 3/4, 64 QAM 4/5
Mode Duplex	TDD
OFDM Parameter	7 data symbol per 0.5 ms sub frame
Minimum TTI	1 ms
Konfigurasi antena	DL : (1x1), (2x2),(4x) UL: Single configuration
Channel estimation	Ideal
Handover and mobility	Disable
Tinggi Mobile Station ( $h_m$ )	1.5 m
Tinggi enodeB ( $h_b$ )	30 m
Power Tx (PTx)	46 dB
Gain Tx (GTx)	18 dB
Gain Rx (GRx)	0 dB
Loss Tx (LTx)	2 dB
Loss Rx (LRx)	0 dB
Noise Figure( NF )	7 dB
Implementation Margin :	
QPSK	2 dB
16QAM	3 dB
64QAM	4 dB
Gain Diversity (Gd)	3 dB
Planning Margin (PM)	0 db

Dalam perencanaan area cakupan digunakan frekuensi kerja 2.3 GHz sesuai dengan alokasi pita frekuensi yang ditetapkan pemerintah untuk penyelenggaraan layanan *broadband wireless access* (BWA), dengan alokasi lebar kanal maksimum masing – masing operator adalah 15 Mhz. Pada model perencanaan dalam ini hanya diperhitungkan lebar kanal 5 dan 10 MHz saja, meskipun lebar kanal 15 MHz termasuk dalam standarisasi 3GPP2 *release* 8. Hal ini antara lain disebabkan antara lain, belum ada aturan yang jelas mengenai sinkronisasi antar operator untuk penggunaan lebar kanal 15 MHz dan ketersediaan perangkat LTE di pasar, khususnya untuk perangkat akses yang tidak mendukung penggunaan frekuensi kanal 15 MHz.

Distribusi skema modulasi adalah asumsi yang menggambarkan distribusi pelanggan berdasarkan kualitas penerimaan sinyal dan skema modulasi yang digunakan di sisi pelanggan. Semakin tinggi skema modulasi yang didapatkan pelanggan menandakan semakin baik level sinyal yang diterima pelanggan. Asumsi ini dapat dirubah sesuai dengan kondisi implementasi di suatu lokasi. Dalam perencanaan ini digunakan asumsi distribusi skema modulasi seperti ditunjukkan pada 6 Pola distribusi ini akan digunakan dalam perhitungan area cakupan dan kapasitas sel eNodeB pada bagian selanjutnya.

Tabel 6. Distribusi skema modulasi

MCS	Persentase
QPSK 1/8	0.5%
QPSK 1/5	0.5%
QPSK 1/4	0.5%
QPSK 1/3	0.5%
QPSK 1/2	1.0%
QPSK 2/3	1.0%
QPSK 4/5	1.0%
16 QAM 1/2	2.0%
16QAM 2/3	3.0%
16 QAM 4/5	5.0%
64 QAM 2/3	10.0%
64 QAM 3/4	15.0%
64 QAM 4/5	60.0%

**e. Kapasitas sel eNode B**

Untuk menghitung kapasitas sebuah sel eNodeB, rumus shannon dimodifikasi dengan memperhitungkan efisiensi *bandwith* dan efisiensi SNR, yang telah diperhitungkan dengan formula sebelumnya. Sehingga data *rate*, *R* untuk *downlink* dan *uplink* dengan nilai SNR tertentu dan *bandwith* *B* dapat dihitung sebagai:

*Downlink*

$$R_{DL} = B_w \times \frac{\eta_{BW}}{Q} \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q \log_2 \left( 1 + \eta_{SNR} \frac{S}{N} \right)$$

*Uplink*

$$R_{DL} = B_w \times \frac{\eta_{BW}}{Q} \sum_{q=0}^Q \log_2 \left( 1 + \eta_{SNR} \frac{S}{N} \right)$$

Dengan *K* adalah jumlah antenna *Tx* yang digunakan dan *Q* adalah jumlah resource block sesuai dengan lebar kanal yang digunakan.

**f. Perencanaan area cakupan**

Dalam perencanaan area cakupan langkah awal yang harus dilakukan adalah menghitung *link budget* dan juga nilai *reference sensivity*. Luas area cakupan maksimum diperoleh dengan menggunakan nilai *power* minimum pada sisi penerima. Setelah perhitungan *link budget*, luas area cakupan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada model propagasi okumura-hatta.

**1. Link budget**

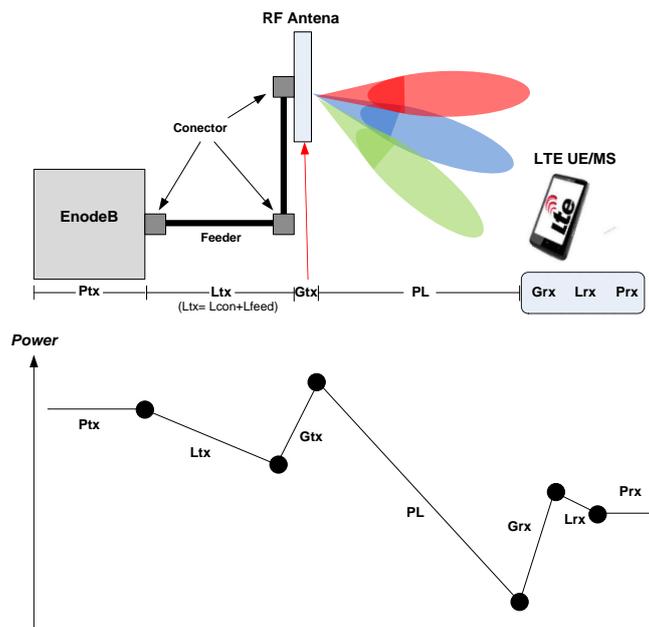
*Link budget* adalah perhitungan semua faktor penguatan dan rugi-rugi dari sistem transmisi, dari mulai media transmisi sampai dengan sistem radio. Ilustrasi dan formula perhitungan link budget ditunjukkan pada Rumus berikut.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{TX} - L_{RX} + PM - PL$$

dimana :

- $P_{RX}$  = Power di sisi penerima ( dBm )
- $P_{TX}$  = Power keluaran pemancar ( dBm )
- $G_{TX}$  = Penguatan antenna Pamancar ( dBi )
- $G_{RX}$  = Penuatan antenna penerima ( dBi )
- $L_{TX}$  = Rugi-rugi disisi pemancar ( dB )
- $L_{RX}$  = Rugi-rugi disisi penerima ( dB )
- $PM$  = *Planning Margin* ( dB )
- $PL$  = *Path Loss* ( dB )

Ilustrasi parameter perhitungan link budget diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Ilustrasi perhitungan link budget

**2. Model propagasi Okumura-Hatta**

Untuk menentukan area cakupan digunakan model propagasi okumura-hatta. Model propagasi ini adalah model yang paling banyak digunakan pada perencanaan sistem seluler. Pada model hatta, terdapat empat tipe area, yakni *Open*, *Sub-urban*, *urban*, *small city* dan *large city*. Formula jarak bebas hatta adalah [15].

$$L_{hatta} = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_{MHz}) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)] \log_{10}(d_{km}) - K'$$

Keterangan :

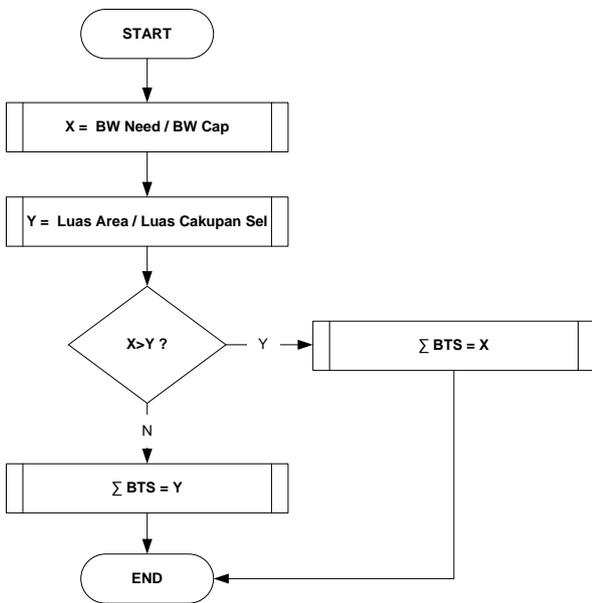
- $L_{hatta}$  = *Path loss*
- $f$  = Frekuensi ( MHz )
- $h_b$  = Tinggi base station
- $h_m$  = Tinggi dari antenna perangkat *mobile*
- $a(h_m)$  dan  $K'$  = karakteristik *environment* ( pada tabel 7 )

Tabel 7. Karakteristik *environment* pada propagasi okumura-hatta

No	Type Area	a(hm)	K
1	Open	$[1,1 \log_{10}(f_{MHz}) h_m - 0,7]$ $- [1,56 \log_{10}(f_{MHz}) - 0,8]$	$4,78[\log_{10}(f_{MHz})]^2 - 18,33\log_{10}(f_{MHz}) + 40,94$
2	Sub-Urban		$2[\log_{10}(f_{MHz} / 28)]^2 + 5,4$
3	Small City		-
4	Large City	$3,2[\log_{10}(11,75 h_m)]^2 - 4,97$	-

**g. Jumlah sel eNodeB LTE**

Jumlah sel yang dibutuhkan pada lokasi implementasi dapat ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan kapasitas dan luas area layanan dan tipe area. Selanjutnya jumlah sel dapat ditentukan dengan algoritma pada Gambar 12. Jumlah sel diambil nilai terbesar perhitungan jumlah sel BTS berdasarkan luas area dan kebutuhan *bandwith*.



Gambar 12 Langkah-langkah menentukan jumlah sel BTS LTE

**4. PERHITUNGAN DAN ANALISA HASIL**

**a. Kebutuhan *bandwith* pelanggan**

Dengan tipe layanan dan potensi pelanggan yang akan diberikan sebelumnya, dan dengan asumsi pertumbuhan pengguna mencapai 12,3 % per tahun. Proyeksi kebutuhan kapasitas dalam rentang lima tahun dapat dihitung, sehingga diperoleh hasil seperti pada Gambar 13.



Gambar 13 Proyeksi perbandingan jumlah *subscriber* dan kebutuhan *bandwith* pada tipe area *small city* dan *sub-urban*

Kondisi demografi dan geografis kota Bandung dimana potensi pengguna internet sebagian besar berada pada area dengan tipe *small city* membuat kebutuhan *bandwith* di daerah tersebut tinggi. Dalam perjalanannya harus senantiasa dianalisa realisasi trafik pengguna di daerah tersebut apakah masih mencukupi atau harus dilakukan penambahan kapasitas

**b. Perhitungan dan analisa kapasitas jaringan.**

Seperi telah dibahas pada bagian sebelumnya, untuk menghitung nilai kapasitas *bandwit* dari sebuah sel eNodeB LTE perlu dihitung nilai efisiensi *bandwith* dan efisiensi SNR sesuai dengan konfigurasi dan parameter yang telah ditetapkan.

**1. Efisiensi *bandwith***

Dari perhitungan efisiensi *bandwith* link dan efisiensi *bandwith* sistem pada sisi *uplink* dan *downlink* seperti pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 7 Efisiensi *bandwith* sistem

Lebar Kanal ( MHz )	$\eta_{Bw\_Sys\_DL}$ r Antena TX				$\eta_{Bw\_Sys\_UL}$
	1	2	3	4	
5	0.62	0.59	0.57	0.55	0.75
10	0.62	0.59	0.57	0.56	0.78

Tabel 8 Efisiensi *bandwith* link

Lebar Kanal ( MHz )	$\eta_{Bw\_Link\_DL}$ r Antena TX				$\eta_{Bw\_Link\_UL}$
	1	2	3	4	
5	0.798	0.758	0.738	0.718	0.803
10	0.799	0.759	0.739	0.719	

Dari hasil perhitungan pada efisiensi *bandwith*, terlihat bahwa nilai efisiensi *bandwith* sistem dan link tidak hampir sama, untuk lebar kanal yang berbeda. Sementara untuk sisi *uplink* ada sedikit perbedaan antara nilai efisiensi *bandwith* sistem pada lebar kanal 5 dan 10 MHz.

**2. Perhitungan efisiensi SNR**

Efisiensi SNR dihitung melalui pendekatan grafik Shannon bound sesuai dengan skema modulasi dan koding

seperti ditunjukkan pada Gambar 14. Dari pendekatan grafik tersebut kemudian nilai efisiensi SNR dihitung. Dari perhitungan sebelumnya untuk efisiensi *bandwith link* dan efisiensi *bandwith* sistem hampir tidak dipengaruhi oleh lebar kanal yang digunakan. Perbedaan efisiensi lebih dikarenakan oleh jumlah antenna Tx yang digunakan, untuk itu pada sisi *downlink* nilai efisiensi *bandwith link* dianggap sama untuk lebar kanal 5 MHz dan 10 Mhz yang digunakan.

Sebagai contoh perhitungan digunakan skema QAM 3/4 dengan konfigurasi antenna Tx 2. Nilai SNR dari pendekatan grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 14 adalah 16 dB , sementara untuk nilai efisiensi spektral *R/B* adalah 4,5, sementara untuk nilai efisiensi *bandwith*,  $\eta_{BW}$  dengan 2 antenna TX adalah 0,76 . Sehingga nilai efisiensi SNR,  $\eta_{snr}$  adalah :

$$\frac{R}{B} = \eta_{BW} \log_2 \left( 1 + \eta_{SNR} \frac{S}{N} \right)$$

Pada QAM 3/4 dan dengan 2 antenna TX

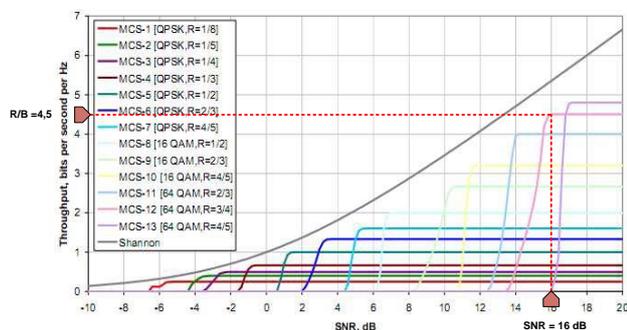
$$4,5 = 0,76 \log_2 (1 + \eta_{SNR} 16)$$

$$\frac{4,5}{0,76} = \log_2 (1 + \eta_{SNR} 16)$$

$$5,92 = \log_2 (1 + \eta_{SNR} 16)$$

$$60,59 - 1 = \eta_{SNR} 16$$

$$\eta_{SNR} = \frac{59,59}{16} = 3,74$$



Gambar 14. Nilai SNR dan spectral efisiensi pada MCS 64 QAM 3/4

### 3. Kapasitas *bandwith* sel eNodeB

Kapasitas sebuah sel *eNodeB* diperoleh dengan menggunakan Rumus 3.16 untuk sisi *downlink* dan 3.17 untuk sisi *uplink*. Contoh perhitungan menggunakan skema MCS 64 QAM 3/4 dengan menggunakan 2 antenna TX pada lebar kanal 10 MHz.

Dari Rumus 2.15 jumlah *resource block* *Q* pada lebar kanal 10 MHz adalah 50, dengan 2 antenna TX maka diperoleh 100 faktor penambahan (2 Antenna TX x 50 *resource block*). Efisiensi *bandwith* yang digunakan dalam perhitungan adalah efisiensi *bandwith* sistem. Sebagai contoh perhitungan adalah sebagai berikut:

$$R_{DL\_10MHz\_2TX} = 10.000,000$$

$$\times \frac{0,59}{50} \sum_{k=1}^{K=2} \sum_{q=1}^{q=50} \log_2 (1 + 3,74 \times 16)$$

$$R_{DL\_10MHz\_2TX} = 118.083,27$$

$$\times [(50 \times \log_2 (1 + 3,04 \times 16)) + (50 \times \log_2 (1 + 3,74 \times 16))]$$

$$R_{DL\_10MHz\_2TX} = 118.083,27 \times [(281,58) + (296,4)] = 65,09 \text{ Mbps}$$

Dengan code rate 3/4 = 0,75, maka kapasitas sel eNode B menjadi 48,82 Mbps

Dengan mengalikan dengan distribusi skema modulasi yang ada, maka kapasitas rata-rata dari sebuah sel eNodeB pada sisi *downlink* dan *uplink* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.9 Data rate rata-rata sisi *downlink*

Data rate rata-rata sisi <i>downlink</i> (Mbps)			
Lebar Kanal (MHz)	Konfigurasi Antena		
	1x1	2x2	4x4
5	12.17	23.74	46.51
10	24.35	47.48	93.02

Tabel 4.10 Data rate rata-rata sisi *uplink*

Data rate rata-rata sisi <i>uplink</i> (Mbps)	
Lebar Kanal (MHz)	Konfigurasi Antena
	1x1
5	14.67
10	30.52

### c. Perhitungan area cakupan sel eNodeB

Dalam perencanaan area cakupan harus memperhitungkan *link budget* terlebih dahulu untuk menentukan radius sel dan area cakupan dari suatu sel. Untuk mendapatkan radius sel yang maksimum, harus menggunakan nilai minimum daya yang diterima di sisi penerima (Rx) atau disebut sebagai *Prx min*. Nilai minimum ini sering disebut sebagai *reference sensivity*, yakni nilai minimum yang masih dapat diterima di sisi penerima (perangkat pengguna) agar mendapatkan suatu besaran kapasitas *data rate* tertentu.

Dalam perhitungan radius sel digunakan pendekatan mode propagasi Okumura-Hatta yang merupakan mode propagasi yang paling umum digunakan dalam perencanaan.

Hasil perhitungan area cakupan untuk semua tipe area pada lebar kanal 5 MHz dan 10 MHz adalah sebagai berikut:

Tabel 11 Radius sel BTS LTE

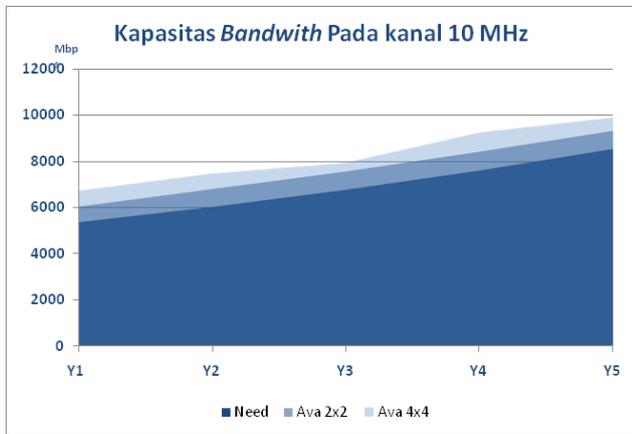
Type Area	Radius Sel (km)	
	5 MHz	10 MHz
Open	16.42	13.49
Suburban	4.27	3.51
Small City	1.86	1.53
Large City	1.85	1.52

**d. Jumlah kebutuhan sel eNodeB LTE**

Dari hasil perhitungan kebutuhan jumlah eNode B di kota Bandung pada lebar kanal 10 MHz dengan konfigurasi antenna MIMO 2 x 2, pada tahun pertama di butuhkan 127 sel eNode B. Sementara dengan konfigurasi antenna 4 x 4, dibutuhkan 72 sel eNode B.

**e. Analisa kapasitas eNode B LTE**

Dalam perencanaan, harus dipastikan bahwa kapasitas jaringan LTE yang akan di implementasikan mencukupi kebutuhan *bandwidth* potensi pelanggan di daerah tersebut. Dari hasil perhitungan jumlah sel eNode B pada bagian sebelumnya dapat dihitung kapasitas yang tersedia. Gambar 15 menunjukkan perbandingan kapasitas yang tersedia dari hasil perencanaan terhadap kebutuhan kapasitas dari potensi pelanggan di kota Bandung. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kapasitas jaringan LTE hasil perencanaan dapat mengkomodir kebutuhan kapasitas potensi pelanggan. Kapasitas hasil perencanaan pada konfigurasi MIMO .4 x 4 lebih besar dari konfigurasi MIMO 2 x 2.



Gambar 14 Perbandingan kapasitas hasil perencanaan dan kebutuhan kapasitas potensi pelanggan

Selanjutnya dari kapasitas hasil perencanaan dapat diketahui profil utilisasi eNode B LTE di setiap area kota Bandung. Untuk menjaga kualitas pelayanan, tingkat utilisasi dibagi dalam beberapa kriteria sebagai berikut :

- *Red Zone Area*, yakni area dengan utilisasi 90% – 100 %.
- *Yellow Zone Area*, yakni area dengan utilisasi 80% - 90%.
- *Green Zone Area*, yakni area dengan utilisai < 80 %.

Daerah *red zone*, mengindikasikan harus dilakukan penambahan kapasitas bandwith di area tersebut (“penebalan”) dengan penambahan jumlah sel eNode B, maupun penambahan *second carier* pada sel eksisting.

Daerah *yellow zone*, mengindikasikan bahwa secara umum utilisasi di sel tersebut sudah tinggi dan mendekati congest, sehingga harus di monitoring secara lebih cermat dan dipersiapkan rencana “penebalan” kapasitas di lokasi tersebut.

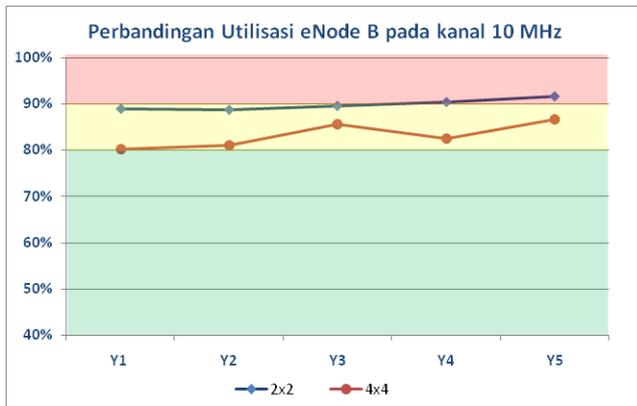
*Green zone* mengindikasikan daerah tersebut masih memiliki kapasitas yang cukup banyak. Tabel 12 menggambarkan perbandingan utilisasi jaringan LTE di kota Bandung pada lebar kanal 10 MHz dengan konfigurasi 2 x 2 dan 4 x 4.

Dari profil utilisasi tersebut dapat diketahui bahwa dengan konfigurasi antenna MIMO 4 x 4, profil utilisasi jaringan lebih baik dibandingkan pada konfigurasi 2x2, hal ini ditandai dengan lebih sedikitnya *red zone area*, yang membutuhkan “penebalan” kapasitas, dimana hal tersebut berarti diperlukannya *resource* tambahan untuk pelaksanaan hal tersebut.

Secara total profil utilisasi jaringan LTE di kota Bandung diperlihatkan pada gambar 15 Dengan konfigurasi MIMO 2x2, pada tahun ketiga diperlukan adanya “penebalan” kapasitas jaringan LTE, sementara pada konfigurasi MIMO 4x4 sampai dengan tahun ke 5, secara umum, kapasitas jaringan eksisting masih dapat menampung kebutuhan pelanggan di kota Bandung.

Tabel 12. Proyeksi Utilisasi BTS LTE di kota Bandung dalam rentang 5 tahun

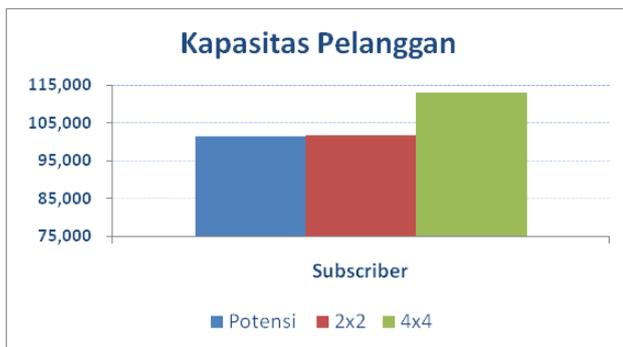
Kecamatan	Utilisasi BTS LTE Pada Lebar Kanal 10 MHz									
	MIMO 2x2					MIMO 4x4				
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
SUKAJADI	97%	94%	92%	92%	93%	100%	84%	94%	85%	95%
COBLONG	96%	92%	91%	90%	91%	98%	82%	92%	83%	93%
LENGKONG	96%	92%	90%	90%	91%	98%	82%	92%	83%	93%
CICENDO	94%	90%	89%	100%	99%	96%	81%	90%	81%	91%
BATUNUNGGAL	86%	96%	95%	95%	96%	77%	86%	97%	87%	98%
CIBEUNYING KIDUL	96%	90%	86%	97%	95%	81%	91%	77%	87%	97%
KIARACONDONG	93%	87%	97%	94%	92%	79%	88%	99%	84%	94%
REGOL	91%	85%	96%	92%	90%	77%	87%	97%	82%	92%
ANDIR	90%	85%	95%	92%	90%	77%	86%	97%	82%	92%
BUAHBATU	81%	91%	85%	95%	92%	69%	77%	87%	97%	82%
CIBEUNYING KALER	83%	93%	87%	97%	94%	70%	79%	89%	100%	84%
BOJONGLOA KIDUL	97%	93%	92%	92%	93%	95%	83%	94%	84%	95%
BANDUNG KULON	85%	95%	89%	86%	96%	72%	81%	91%	77%	86%
BOJONGLOA KALER	94%	85%	95%	89%	100%	96%	72%	81%	91%	76%
BANDUNG WETAN	90%	81%	91%	85%	96%	92%	69%	77%	87%	98%
ASTANAANYAR	90%	81%	90%	85%	95%	92%	69%	77%	86%	97%
SUMUR BANDUNG	82%	92%	82%	93%	87%	83%	94%	70%	79%	88%
SUKASARI	79%	89%	100%	90%	84%	81%	91%	68%	76%	86%
BABAKAN CIPARAY	81%	91%	82%	92%	86%	83%	93%	69%	78%	88%
CIDADAP	99%	84%	94%	84%	95%	76%	85%	96%	72%	81%
ANTAPANI	98%	83%	93%	84%	94%	75%	85%	95%	71%	80%
MANDALAJATI	100%	84%	94%	85%	95%	76%	86%	96%	72%	81%
UJUNG BERUNG	90%	76%	85%	96%	86%	69%	77%	87%	98%	73%
RANCASARI	87%	98%	82%	93%	83%	67%	75%	84%	95%	71%
PANYILEUKAN	87%	98%	83%	93%	83%	67%	75%	84%	95%	71%
BANDUNG KIDUL	83%	93%	79%	88%	99%	64%	71%	80%	90%	67%
CIBIRU	73%	82%	92%	78%	87%	56%	63%	71%	79%	89%
ARCAMANIK	70%	78%	88%	99%	83%	53%	60%	67%	76%	85%
CINAMBO	80%	90%	68%	76%	85%	82%	92%	52%	58%	65%
GEDEBAGE	73%	82%	92%	69%	78%	75%	84%	94%	53%	60%
<b>Total Bandung</b>	<b>89%</b>	<b>89%</b>	<b>90%</b>	<b>90%</b>	<b>92%</b>	<b>80%</b>	<b>81%</b>	<b>86%</b>	<b>83%</b>	<b>87%</b>



Gambar 15 Profil utilisasi jaringan LTE di kota Bandung dalam periode 5 tahun.

#### f. Analisa kapasitas jumlah pelanggan

Selain kapasitas *bandwith* yang memadai, hasil perencanaan harus dipastikan mampu menampung jumlah potensi calon pelanggan di lokasi tersebut., sebanyak 99,3 % dari seluruh total pelanggan adalah pelanggan retail dan 0.7% sisanya adalah pelanggan SME, namun demikian dengan 0,7 % jumlah pelanggan SME membutuhkan 7 % dari total kebutuhan *bandwith*. Dengan pola tersebut dapat dianalisa kapasitas pelanggan dari jaringan LTE di kota Bandung seperti pada Gambar 16. Dalam perhitungan kapasitas pelanggan diasumsikan maksimum *load* adalah 90 % sesuai dengan kriteria utilisasi *red zone area*.



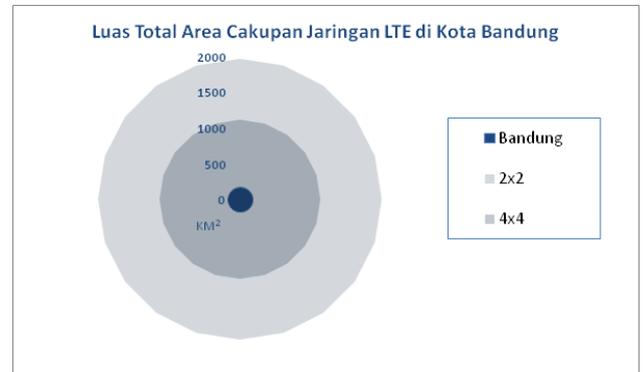
Gambar 16 Kapasitas pelanggan hasil perencanaan

#### g. Analisa area cakupan

Luas total area cakupan hasil perencanaan dapat dilihat pada gambar 17 dan Tabel 13. Dari data tersebut diperoleh informasi bahwa dari sudut pandang luas area cakupan jumlah sel eNode B hasil perencanaan memiliki luas total area cakupan jauh lebih luas dari luas kota Bandung, sehingga secara umum, seluruh wilayah kota Bandung dapat terlayani jaringan LTE

Tabel 13. Luas total area cakupan LTE di kota Bandung

Tipe Area	Luas Area Cakupan ( KM <sup>2</sup> )		
	Bandung	2x2	4x4
Small City	127.7388	686.82	389.38
Sub-urban	44.8812	1,274.78	722.71
<b>Total</b>	<b>172.62</b>	<b>1,961.61</b>	<b>1,112.09</b>



Gambar 17. Luas total area cakupan LTE di kota Bandung

### 5. SIMPULAN

Dari pembahasan dan analisa hasil didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model perencanaan yang dibuat dapat diimplementasikan untuk perencanaan awal *broadband wireless access* (BWA) berbasis *Long Term Evolution* (LTE), untuk mendapatkan informasi kebutuhan jumlah sel eNode B yang dapat memenuhi kebutuhan potensi calon pelanggan dari aspek kapasitas, area cakupan, dan jumlah pelanggan.
2. Dari hasil perencanaan BWA berbasis LTE di kota Bandung dengan menggunakan model perencanaan yang dibuat, diperoleh informasi hasil perencanaan jumlah enodeB LTE pada lebar kanal 10 Mhz dengan konfigurasi antenna MIMO 2x2 sebanyak 127 sel eNode B, dan 72 sel eNode B pada konfigurasi antenna MIMO 4x4.
3. Dengan jumlah BTS enodeB hasil perencanaan di kota Bandung tersebut, telah dapat mengakomodasi kebutuhan *bandwith*, area cakupan, dan jumlah potensi pelanggan di kota Bandung dalam kurun waktu 5 tahun kedepan.
4. Dari analisa profil utilisasi hasil perencanaan sel eNode B di kota Bandung dalam rentang 5 tahun, diperoleh profil yang lebih baik pada konfigurasi MIMO 4x4 dibanding dengan konfigurasi MIMO 2x2.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gilberto Berardinelli, Luis Angel, Simone Frattasi, etc. "OFDMA vs. SC-FDMA: Performance comparison in local area IMT-A Scenarios". IEEE Wireless Communications, October 2008
- [2] Rohde & Schwarz. 2007 "UMTS Long Term Evolution (LTE) Technologies Introduction". <http://imperiamivlag.de/imperia/md/upload/article/426.pdf>, May 2010
- [3] Amir Masoud Ahmadzadeh. "Capacity and Cell-Range Estimation for Multitrafic Users in MobileWiMax". University college of Borås Sweden, 6-Nov-2008
- [4] Moray Rumney BSc, C. Eng, MIET "3GPP LTE: Introducing Single-Carrier FDMA". <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7898EN.pdf>, May 2010
- [5] Ericsson, "LTE – an introduction". [http://quiz.informatm.com/\\_data/assets/pdf\\_file/0/006/190527/lte\\_overview\\_Ericsson.pdf](http://quiz.informatm.com/_data/assets/pdf_file/0/006/190527/lte_overview_Ericsson.pdf), May-10
- [6] 3GPP TS 36.101: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radiotransmission and reception". version 8.7.0 Release 8, 2009
- [7] 3GPP TS 36.211: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation". version 8.8.0 Release 8, 2009
- [8] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold. "3G evolution: HSPA and LTE for mobile Broadband". second edition. Elsevier Academic Press, 2008
- [9] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. "LTE, The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice". John Wiley and Sons, 2009
- [10] 3GPP TS 36.213: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures". version 8.8.0 Release 8, 2009
- [11] 3GPP TR 36.942: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios". version 8.2.0 Release 8, 2009
- [12] Vieira, P., Queluz, P., Rodrigues. "A. LTE spectral efficiency using spatial multiplexing MIMO for macro-cells". 2008 IEEE Signal Processing and Communication Systems, 2nd International Conference 2008
- [13] Hyung G. Myung. "Technical Overview of 3GPP LTE". May 18, 2008. [http://hgmyung.googlepages.com/\\_3gppLTE.pdf](http://hgmyung.googlepages.com/_3gppLTE.pdf), May 2010
- [14] Walter Debus "RF Path Loss & Transmission Distance Calculations". August 4, 2006. <http://www.axonn.com/pdf/path-loss-calculations.pdf>, May 2010
- [15] Harri Holma, Antti Toskala. "LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access". John Wiley and Sons, 2009
- [16] Frontier, Survey Market PT Indosat Mega Media, Oktober 2011
- [17] Anonim. Definisi Broadband. <http://mastel.wordpress.com/category/definisi-broadband/>
- [18] Anonim. Penetrasi Internet dan Broadband. <http://www.sharingvision.biz/2011/11/26/penetrasi-internet-dan-broadband/>