

PERENCANAAN JARINGAN LTE FDD 1800 MHZ DI KOTA SEMARANG MENGUNAKAN ATOLL

Muhamad Ridwan Fauzi^{*)}, Sukiswo, and Teguh Prakoso

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: ridfauzi@yahoo.com

Abstrak

LTE merupakan teknologi evolusi dari GSM yang dikembangkan oleh 3GPP dan disebut sebagai salah satu teknologi pra-generasi keempat (4G). Implementasi LTE di Indonesia sendiri masih belum menyuluruh dan baru diterapkan di beberapa kota besar saja, namun frekuensi untuk menggelar LTE sudah disediakan, salah satunya pada frekuensi 1800 MHz. Sebelum menggelar teknologi LTE perlu dilakukan perencanaan jaringan untuk mengetahui jumlah eNodeB yang dibutuhkan. Pada Tugas Akhir ini dilakukan perencanaan jaringan LTE FDD 1800 MHz menggunakan perangkat lunak Atoll. Perencanaan yang dilakukan menggunakan metode perencanaan cakupan dengan studi kasus di Kota Semarang. Untuk mendukung hal tersebut ditentukan model propagasi yang sesuai untuk perencanaan ini, yaitu model COST-231 Hata. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa jumlah eNodeB yang dibutuhkan dalam perencanaan adalah sebanyak 152 *site* dan 453 sel agar area Kota Semarang tercakupi oleh RS dan SINR minimal sekurang-kurangnya 95%. Hasil lain didapatkan bahwa jumlah pelanggan yang dapat mengakses jaringan hingga ke daerah *indoor* didapatkan sebanyak 98,7% untuk *bandwidth* 5 MHz, 97,1% untuk 10 MHz, 95,9% untuk 15 MHz, dan 94,8% untuk 20 MHz. Pada *bandwidth* 20 MHz kapasitas sel dan *throughput* sel yang dihasilkan adalah yang paling besar dengan beban sel sebesar 50,53% untuk *downlink* dan 18,84% untuk *uplink*, dan *throughput* sel yang dihasilkan sebesar 34.633 kbps untuk *downlink* dan 9.591 kbps untuk *uplink*.

Kata kunci: LTE, perencanaan cakupan, Atoll

Abstract

LTE is technology evolution of GSM that developed by 3GPP as one the 4G technology. LTE technology in Indonesia is not implemented entirely and just implemented in some big cities, however the frequencies for implementing this technology is available, one of them is 1800 MHz. It is necessary for network planning before deploying LTE to know the number of eNodeB. This final project discusses about LTE FDD network planning for 1800 MHz using software Atoll. This planning uses coverage planning method with case study in Semarang City. The propagation models that suitable to support this planning is COST-231 Hata model. The result of this simulation shows that the number of eNodeB that required in this planning is 152 site and 453 cell to result minimum RS and SINR coverage at least 95% of Semarang City area. The other result is that the number of user that connected to the network including indoor user is 98,7% for bandwidth 5 MHz, 97,1% for 10 MHz, 95,9% for 15 MHz, and 94,8% for 20 MHz. Bandwidth 20 MHz has the largest capacity cell and highest throughput cell with 50,53% cell load for downlink and 18,84% for uplink, and the throughput cell is 34.633 kbps for downlink dan 9.591 kbps for uplink.

Keywords: LTE, coverage planning, Atoll

1. Pendahuluan

Teknologi telekomunikasi seluler bergerak dengan sangat cepat, dimulai dari GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, hingga HSDPA. Meskipun teknologi tersebut belum menjangkau seluruh daerah di Indonesia, telah muncul teknologi baru yaitu LTE. LTE dengan kemampuannya dapat memberikan *data rate* hingga 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*^[1]. Di Indonesia

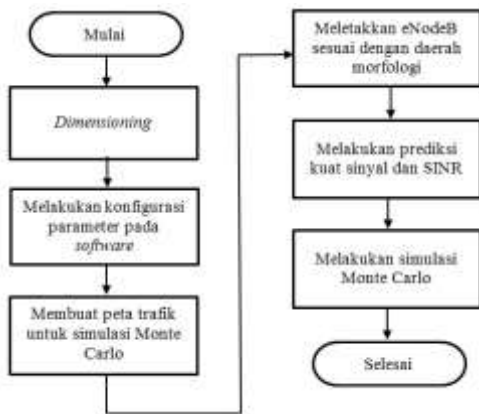
sendiri implementasi LTE masih belum menyuluruh dan baru diterapkan di beberapa kota besar saja, namun frekuensi untuk menggelar LTE sudah disediakan, salah satunya pada frekuensi 1800 MHz. Sebelum menggelar teknologi LTE perlu dilakukan perencanaan jaringan untuk mengetahui jumlah eNodeB yang dibutuhkan.

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah membuat simulasi perencanaan jaringan LTE FDD pada frekuensi 1800 MHz pada area Kota Semarang berdasarkan peta digital,

kontur bumi, dan kepadatan penduduk menggunakan perangkat lunak Atoll dengan variasi *bandwidth*.

2. Metode

2.1. Alur Perencanaan



Gambar 1. Alur Perencanaan

2.2. Dimensioning

Dimensioning merupakan tahap awal pada perencanaan, yaitu melakukan perhitungan *link budget* yang bertujuan untuk menghitung nilai MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) antara UE dan eNodeB.

Tabel 1. Link Budget Skenario 1

Link Budget	Formula	FDD 5 MHz	
		DL	UL
Operating Band (MHz)	a	1800	
Data rate (Kbps)	b	256	128
Allocated RB	c	6	3
Allocated Subcarriers	d	72	36
Tx RF Power (dBm)	e	46	23
Tx Antenna Gain (dBi)	f	18	0
Feeder Loss per m (dB/m)	g	0,06	0
Feeder Length (m)	h	50	0
Feeder Loss/Line Loss (dB)	i = g x h	3	0
EIRP (dBm)	j = e + f - i	61	23
kT (dbm/Hz)	k = 10 log (k x T)	-174	
Thermal Noise per Subcarrier (dBm)	l = k + 10 log(15khz)	-132,2	-132,2
Aggregate Thermal Noise (dBm)	m = l + 10 log(d)	-113,7	-116,7
Noise Figure (dB)	n	6	4
Required SINR at Cell Edge (dB)	o	-4,1	-5,1
Fast Fade Margin (dB)	p	0	0
Rx Sensitivity (dBm)	q = m + n + o + p	-111,8	-117,8
Rx Antenna Gain (dBi)	r	0	18
Rx RF Line Loss (dB)	s	0	3
Effective Rx Sensitivity (dBm)	t = q - r + s	-111,8	-132,8
geometry factor (dB)	u	0	0
Cell load (%)	v	50%	50%
Interference Margin (dB)	w = -10 log (1 - SINR.v/u)	0,9	0,7
Body Loss (dB)	x	0	0
Maximum Path Loss (db)	y = j - q - t - w - x	171,9	155,1

Tujuan dari *link budget* adalah menghitung MAPL dari sebuah skenario untuk mencari radius sel. Dari nilai MAPL yang didapat dipilih nilai MAPL terendah kemudian masing-masing dari skenario dihitung radius selnya dengan menggunakan rumus propagasi COST-231 Hata. Dari masing masing skenario kemudian dicari radius sel yang paling kecil untuk digunakan pada perencanaan pada *software radio planning*.

Tabel 2. Perhitungan Radius Sel Skenario 1

Parameter	Urban	Suburban	Rural
MAPL (dB)	155,06	155,06	155,06
Building Penetration Loss (dB)	17	12	10
Standard Deviation (dB)	8	8	7
Cell Edge Probability	75%	75%	75%
Shadowing Margin (dB)	5,36	5,36	4,69
Path Loss per clutter type (dB)	124,40	132,40	134,4
Operating band (MHz)	1800	1800	1800
ENodeB height (m)	30	30	30
UE height (m)	1,5	1,5	1,5
UE correction	-0,00092	0,042	0,0422
Clutter correction	0	-11,88	-26,81
log d	-0,328	0,152	0,662
d/cell radius (Km)	0,794	2,408	7,636

Dengan melakukan perhitungan yang sama untuk skenario 2, 3, dan 4, yaitu *bandwidth* 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz, maka diperoleh radius sel minimum ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Radius Sel Minimum dari seluruh Skenario

Bandwidth (MHz)	Cell Radius (km)		
	Urban	Suburban	Rural
5	0,794	2,408	7,636
10	0,743	2,256	7,15
15	0,652	1,978	6,272
20	0,650	1,974	6,259

Selanjutnya menghitung batas minimum RSRP. Untuk perhitungan RSRP hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil seluruh skenario didapatkan nilai RSRP terendah sebesar -119,2 dBm maka diambil angka batas minimumnya sebesar -120 dBm.

Tabel 4. RSRP Seluruh Skenario

Parameter	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
EIRP				
DL/Subcarrier (dBm)	42,43	41,18	39,42	38,17
Min MAPL (dB)	155,06	154,06	152,05	152,02
Shadowing (dB)	5,36	5,36	5,36	5,36
RSRP (dB)	-117,99	-118,24	-118	-119,21

2.3. Konfigurasi Parameter Pada Software

2.3.1. Peta Digital

Peta dasar yang dibutuhkan adalah peta digital elevasi dan peta tata lahan. Pada tugas akhir ini peta elevasi yang digunakan adalah peta DTM yang diunduh dari server

open source di Global Data Explorer (GDEX). Peta keluaran tahun 2015 ini berupa peta raster dengan piksel sebesar 31m. Peta tata lahan yang digunakan adalah peta clutter class yang merupakan peta raster dengan piksel sebesar 50 m dan mempunyai 14 jenis kelas.

1 - Sea
2 - Inland Water
3 - Quasi_Open
4 - Open
5 - Agriculture
6 - Low_Dense_Vegetation
7 - High_Dense_Vegetation
8 - Settlement
9 - Sub_Urban
10 - Urban
11 - Dense_Urban
12 - Industrial_Commercial
13 - Airport
14 - Seasonal_Water_Bodies

Gambar 2. Indeks Kelas pada Peta Clutter Class



Gambar 3. Peta Digital yang digunakan

2.3.2 Konfigurasi Parameter Jaringan

Parameter-parameter yang dikonfigurasi merupakan parameter yang ada pada link budget. Untuk jenis antenna mengacu pada data yang tersedia pada Atoll, sedangkan untuk frequency band mengacu pada standar E-UTRA.

Tabel 5. Antena

Name	Gain (dBi)	Beamwidth	Fmin (MHz)	Fmax (MHz)
65deg 18dBi 0Tilt 1800MHz	18	65	1.710	1.900

Tabel 6. Frequency Band

Name	Duplexing Method	DL Start Frequency (MHz)	UL Start Frequency (MHz)	Number of RB
1800 FDD - 5 MHz	FDD	1.805	1.710	25
1800 FDD - 10 MHz	FDD	1.805	1.710	50
1800 FDD - 15 MHz	FDD	1.805	1.710	75
1800 FDD - 20 MHz	FDD	1.880	1.710	100

Selanjutnya dilakukan pembuatan template eNodeB sesuai dengan daerah morfologi.

Tabel 7. Template eNodeB

Name	Number of sectors	Height (m)	Max Power (dBm)	Main Calculation Radius (m)	Main Propagation Model
Rural	3	30	46	1.974	Cost-Hata
Suburban	3	30	46	650	Cost-Hata
Urban	3	30	46	650	Cost-Hata

Untuk radio bearer digunakan konfigurasi seperti pada Tabel 8. Radio bearer merupakan pembawa informasi yang menentukan jenis MCS yang akan digunakan untuk transmisi uplink maupun downlink. Penentuan nilai indeks radio bearer ini berdasarkan nilai SINR yang didapat oleh suatu sel atau UE.

Tabel 8. Radio Bearer

Radio Bearer Index	Name	Channel Coding Rate	Bearer Efficiency (bits/symbol)	SINR DL/UL Thresholds (dB)
1	QPSK 1/12	0,076	0,1523	-6,5
2	QPSK 1/9	0,117	0,2344	-4
3	QPSK 1/6	0,188	0,377	-2,6
4	QPSK 1/3	0,301	0,6016	-1
5	QPSK 1/2	0,438	0,877	1
6	QPSK 3/5	0,588	1,1758	3
7	16QAM 1/3	0,369	1,4766	6,6

Tabel 8. Radio Bearer (Lanjutan)

Radio Bearer Index	Name	Channel Coding Rate	Bearer Efficiency (bits/symbol)	SINR DL/UL Thresholds (dB)
8	16QAM 1/2	0,479	1,9141	10
9	16QAM 3/5	0,602	2,4063	11,4
10	64QAM 1/2	0,455	2,7305	11,8
11	64QAM 1/2	0,554	3,3223	13
12	64QAM 3/5	0,650	3,9023	13,8
13	64QAM 3/4	0,754	4,5234	15,6
14	64QAM 5/6	0,853	5,1152	16,8
15	64QAM 11/12	0,926	5,5547	17,6

Bearer terendah adalah indeks 1 dengan batas minimum SINR yang diizinkan adalah sebesar -6,5 dB. Apabila user mendapatkan nilai SINR di bawah batas minimum tersebut maka user tersebut tidak bisa mendapatkan bearer, dengan kata lain user tersebut tidak akan dapat mengakses jaringan.

2.4 Membuat Peta Trafik

Peta trafik di sini digunakan untuk simulasi Monte Carlo. Pada tugas akhir ini digunakan estimasi distribusi calon pelanggan untuk tahun 2018 dengan mengolah data yang sudah ada yang mengacu pada data BPS tahun 2014.

Tabel 9. Distribusi Calon Pelanggan per Kecamatan

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk Tahun 2018	Penerasi	Estimasi Jumlah Pelanggan LTE	Estimasi Pelanggan LTE (per km2)
1	Mijen	67760	20%	13552	235
2	Gunungpati	86171	20%	17234,2	319
3	Banyumanik	140606	20%	28121,2	1095
4	Gajahmungkur	65456	20%	13091,2	1443
5	Semarang Selatan	78356	20%	15671,2	2643
6	Candisari	78723	20%	15744,6	2407
7	Tembalang	172399	20%	34479,8	780
8	Pedurungan	191799	20%	38359,8	1851
9	Genuk	108181	20%	21636,2	790
10	Gayamsari	73580	20%	14716	2381
11	Semarang Timur	75398	20%	15079,6	1958

12	Semarang Utara	128865	20%	25773	2349
13	Semarang Tengah	68352	20%	13670,4	2226
14	Semarang Barat	156876	20%	31375,2	1443
15	Tugu	36579	20%	7315,8	230
16	Ngaliyan	136063	20%	27212,6	716

Selanjutnya dilakukan konfigurasi layanan dan karakteristik pelanggan. Pada tugas akhir ini diasumsikan karakteristik layanan dan pelanggan untuk seluruh kecamatan adalah sama. Setiap pelanggan diasumsikan menggunakan perangkat UE berupa *mobile terminal* dengan kategori kelas 3.

Tabel 10. Karakteristik Layanan LTE

Name	Priority	Min TD (DL) (kbps)	Min TD (UL) (kbps)	Max TD (DL) (kbps)	Max TD (UL) (kbps)
Download/Upload	0	0	0	4.096	2.048
Internet Access	1	128	64	2.048	1.024
Video Conferencing	2	128	128	512	512
VoIP	3	8	8	8	8

Tabel 11. Karakteristik Pelanggan LTE

Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
VoIP	Mobile Terminal	0,2	180		
Video Conferencing	Mobile Terminal	0,01	360		
Internet Access	Mobile Terminal	0,3		7.680	30.720
Download/Upload	Mobile Terminal	0,01		46.080	184.320

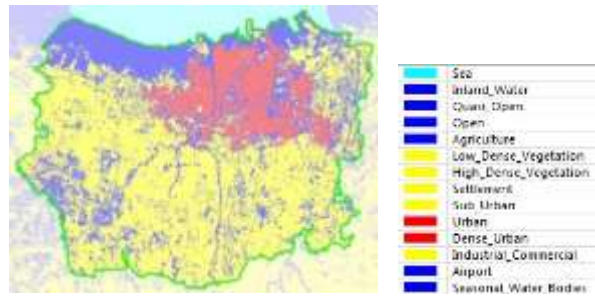
Peta trafik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Trafik Kota Semarang per Kecamatan

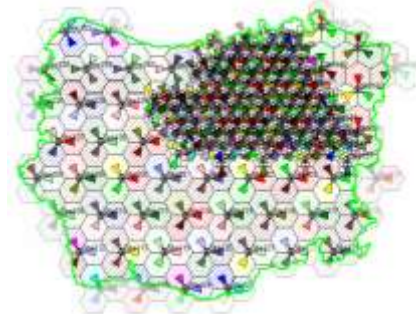
2.5 Peletakkan ENodeB

Untuk mendapatkan area liputan yang maksimal pada peletakkan eNodeB, hal yang perlu diperhatikan adalah jenis morfologi dan kontur bumi pada setiap daerah. Jenis morfologi setiap daerah memiliki *path loss* yang berbeda-beda, maka digunakan jenis propagasi berdasarkan daerah morfologinya. Sebelum melakukan peletakkan eNodeB, peta digital dikelompokkan berdasarkan daerah morfologinya, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.



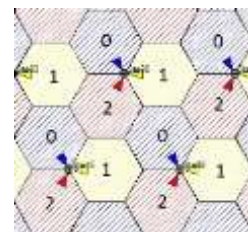
Gambar 5. Peta Digital berdasarkan Daerah Morfologi

Selanjutnya dilakukan peletakkan eNodeB sesuai dengan *template* berdasarkan daerah morfologinya. Langkah pertama dalam peletakkan eNodeB adalah meletakkan eNodeB pada daerah urban karena daerah ini merupakan daerah yang memiliki *path loss* yang paling besar. Setelah seluruh daerah urban tertutupi oleh desain heksagonal dilakukan peletakkan eNodeB untuk daerah selanjutnya, yaitu daerah suburban dan rural. Setelah seluruh Kota Semarang tertutupi oleh desain heksagonal, didapatkan jumlah *site* sebanyak 152 buah dan jumlah sel sebanyak 453 buah dan hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Peletakkan eNodeB berdasarkan Daerah Morfologi.

Setiap sel diatur sedemikian rupa agar memiliki alokasi frekuensi yang berbeda dengan sel lain untuk menghindari interferensi *co-channel*. Dalam penentuan alokasi frekuensi, setiap sel diberikan inisial kanal berupa angka yang berbeda-beda untuk membedakan frekuensi yang dipakai. Contoh hasil alokasi frekuensi untuk setiap sel dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Contoh Hasil Alokasi Frekuensi

3. Hasil Dan Analisa

3.1. Analisis Model Cost-231 Hata

Pada Tugas Akhir ini propagasi yang digunakan adalah model COST-231 Hata. Atoll menghitung *path loss* setiap piksel peta digital menggunakan model tersebut pada simulasi prediksi liputan. Setiap piksel pada peta digital digolongkan ke dalam 3 kategori *clutter*, yaitu daerah urban, suburban, dan rural. Tabel 14 menunjukkan nilai *path loss* hasil pengukuran Atoll dan perhitungan manual.

Tabel 13. Hasil Perhitungan Model Cost-231 Hata

Clutter	Jarak (m)	Ht (m)	RS (dBm)	Path Loss pengukuran Atoll (dB)	Path Loss perhitungan Manual (dB)	Selisih
Urban	1.077	30	-86,4	138,6	137,4	1,3
		40	-84,9	137,1	135,6	1,5
		50	-83,9	136,1	134,3	1,8
	1.290	30	-90,4	142,6	140,1	1,2
	1.515	30	-92	144,2	142,6	1,6
Sub-urban	1.077	30	-74	126,2	125,4	0,8
		40	-72,4	124,7	123,6	1
		50	-71,4	123,6	122,3	1,4
	1.290	30	-76,7	128,9	128,2	0,7
	1.515	30	-79,5	131,7	130,6	1,1
Rural	1.077	30	-53,9	106,1	105,4	0,7
		40	-52,3	104,5	103,7	0,9
		50	-51,3	103,5	102,3	1,2
	1.290	30	-56,6	108,8	108,2	0,6
	1.515	30	-59	111,2	110,6	0,6
1.860	30	-62	114,2	113,8	0,5	

Nilai *path loss* hasil pengukuran Atoll dan perhitungan manual untuk setiap daerah memiliki perbedaan dengan selisih rata-rata 1,33 dB untuk urban, 0,96 dB untuk suburban, dan 0,73 dB untuk rural. Deviasi standar untuk nilai *path loss* hasil pengukuran dan perhitungan yang diizinkan adalah sebesar 10 dB hingga 14 dB^[15] sehingga pengukuran yang dilakukan Atoll sudah dapat digunakan.

3.2. Analisis Optimasi Coverage

Untuk mendapatkan area liputan yang luas perlu dilakukan optimasi jaringan. Optimasi dilakukan dengan mengatur parameter pada tiga titik yang berbeda, yaitu daerah datar, bukit, dan lembah. Berdasarkan tiga kasus tersebut didapatkan urutan dalam melakukan optimasi adalah sebagai berikut:

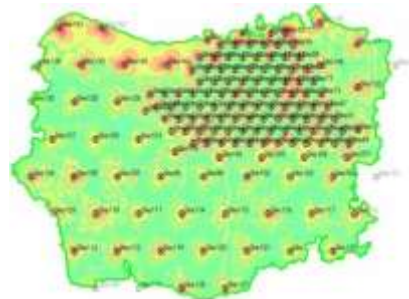
1. Penentuan topografi
Pertama-tama perlu diketahui jenis topografi pada peta digital apakah termasuk datar, bukit, atau lembah.
2. Pengaturan *downtilt* antena
Pengaturan *downtilt* antena harus dilakukan sesuai dengan jenis topografinya untuk mendapatkan liputan yang maksimal.
3. Penambahan tinggi antena
Penambahan tinggi antena dapat menambah area liputan. Konfigurasi ini dilakukan apabila masih terdapat area *blank spot* di tepi sel.
4. Penambahan daya pemancar

Penambahan daya pemancar dapat menambah area liputan dan dapat menambah daya RS pada sisi penerima. Konfigurasi ini merupakan opsi terakhir apabila masih banyak pelanggan yang memiliki nilai RSRP di bawah batas minimum.

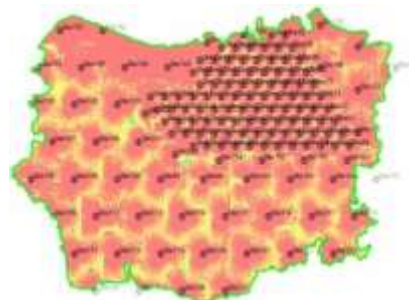
Dalam melakukan optimasi harus diperhatikan juga biaya yang harus dikeluarkan, maka optimasi harus menghasilkan kualitas yang maksimal dengan biaya yang minimal. Dari hal tersebut, penentuan jenis topografi dan pengaturan *downtilt* antena harus maksimal karena tidak banyak memerlukan biaya. Langkah ketiga atau keempat hanya dilakukan apabila kualitas jaringan masih belum maksimal.

3.3. Simulasi Prediksi Liputan

Pada simulasi ini akan ditampilkan hasil berupa prediksi liputan RS, SINR *downlink*, dan SINR *uplink*. Untuk skenario 1 dengan *bandwidth* 5 MHz hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8. Liputan RS Skenario 1



Gambar 9. Liputan SINR Downlink Skenario 1



Gambar 10. Liputan SINR Uplink Skenario 1

Dari hasil simulasi untuk skenario 1 didapatkan bahwa seluruh kota Semarang sudah terliputi oleh RS, SINR *downlink*, dan SINR *uplink*, namun kualitasnya berbeda-beda. Untuk hasil dari seluruh skenario dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Prediksi Liputan Seluruh Skenario

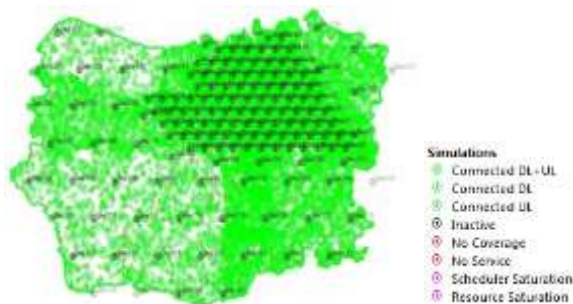
Bandwidth (MHz)	Rata-Rata RS (dBm)	Rata-Rata SIN R DL (dB)	Rata-Rata SIN R UL (dB)	Liputan RS (%)	Liputan SINR DL (%)	Liputan SINR UL (%)
5	-77,5	27,3	11,4	100	100	100
10	-77,5	25,2	11,2	100	100	100
15	-77,5	23,8	11,1	100	100	100
20	-77,5	22,1	11,0	100	100	100

Untuk seluruh skenario, seluruh Kota Semarang sudah 100% terliputi oleh RS dan SINR minimum *downlink* maupun *uplink*. Dengan ini pelanggan yang berada di semua titik nantinya akan dapat melakukan akses ke jaringan dengan syarat harus mendapatkan nilai RSRP di atas batas minimum, yaitu -120 dBm. RSRP merupakan daya rata-rata pada satu *subcarrier* yang diukur oleh UE berdasarkan nilai RS yang didapat. Meskipun daya RS sudah 100% meliputi seluruh area, nilai RSRP yang didapatkan pelanggan belum tentu 100% di atas batas minimum. Nilai RSRP ini bergantung pada daya RS dan dipengaruhi oleh keberadaan pelanggan di suatu titik dan jarak pelanggan terhadap sel terdekat.

3.4. Simulasi Monte Carlo

3.4.1 Analisis Distribusi Pelanggan

Simulasi ini bertujuan untuk menguji kehandalan simulasi sebelumnya. Pada simulasi ini masing-masing skenario dilakukan sebanyak 10 kali simulasi untuk daerah Kota Semarang. Contoh hasil simulasi Monte Carlo dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Simulasi Monte Carlo

Dengan melakukan simulasi yang sama untuk seluruh skenario didapatkan hasil berupa rata-rata pelanggan yang berhasil dan yang gagal mengakses jaringan. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 15.

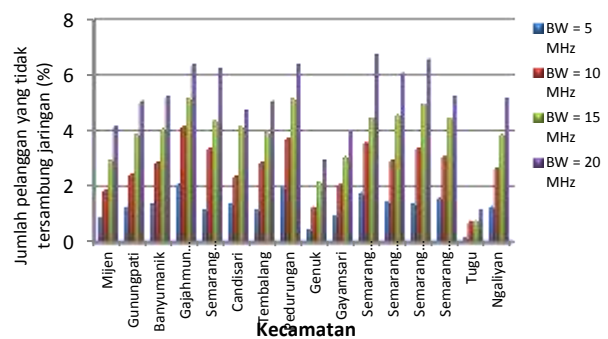
Tabel 15. Rata-Rata Hasil Simulasi Monte Carlo

Bandwidth (MHz)	Jumlah Pelanggan Yang Tersambung Jaringan	Jumlah Pelanggan Yang Tidak Tersambung Jaringan			
		No Coverage	No Service	Scheduler Saturation	Resource Saturation
5	15324,7 (98,7%)	206,9 (1,3%)	0	0	0
10	14995,6 (97,1%)	440,6 (32,9%)	0	0	0
15	14781,3 (95,9%)	637,9 (4,1%)	0	0	0
20	14686,4 (94,8%)	804,9 (5,2%)	0	0	0

Dari Tabel 15 diketahui bahwa penyebab pelanggan gagal mengakses jaringan adalah *no coverage*. Hal tersebut disebabkan nilai RS yang didapatkan pelanggan tersebut terlalu lemah sehingga nilai RSRP yang dapat diterjemahkan berada di bawah batas minimum.

Semakin besar *bandwidth*, jumlah pelanggan gagal tersambung ke jaringan semakin besar. Hal ini disebabkan RS EPRE (*Reference Signal Energy per Resource Element*) bernilai kecil untuk *bandwidth* yang besar. RS EPRE merupakan daya yang dialokasikan untuk satu RE yang digunakan untuk membentuk RS dan mengukur RSRP. Semakin kecil nilai RS EPRE maka daya RS yang terbentuk akan semakin kecil sehingga jumlah pelanggan yang gagal tersambung ke jaringan akan semakin banyak akibat nilai RSRP yang didapat terlalu kecil. Untuk meningkatkannya dilakukan penambahan daya RS EPRE dengan cara memperkuat daya maksimum pada *transmitter*.

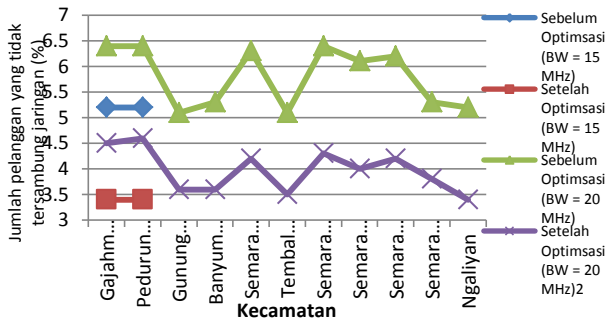
Untuk rata-rata hasil simulasi Monte Carlo per kecamatan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Rata-Rata Jumlah Pelanggan yang tidak tersambung Jaringan

Jumlah rata-rata pelanggan yang gagal mengakses jaringan untuk *bandwidth* 5 MHz dan 10 MHz berada di bawah 5%, sedangkan untuk *bandwidth* 15 MHz dan 20 MHz masih ada kecamatan yang memiliki jumlah rata-rata pelanggan yang gagal mengakses jaringan di atas 5%. Daerah tersebut adalah Kecamatan Gajahmungkur dan Pedurungan untuk *bandwidth* 15 MHz, sedangkan untuk

bandwidth 20 MHz meliputi semua kecamatan kecuali Kecamatan Mijen, Candisari, Genuk, Gayamsari, dan Tugu. Untuk menurunkan angka ini perlu dilakukan optimasi pada jaringan dengan cara penambahan daya maksimum *transmitter* untuk setiap kecamatan dari 46 dBm menjadi 48 dBm.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Jumlah Pelanggan yang tidak tersambung Jaringan Sebelum dan Sesudah Optimasi

Penambahan daya *transmitter* sebesar 2 dBm dapat menambah RS EPRE sebesar 2 dBm juga. Untuk bandwidth 15 MHz setelah optimasi, rata-rata penurunan jumlah pelanggan yang tidak tersambung jaringan untuk 2 kecamatan adalah sebesar 1,8%., sedangkan untuk bandwidth 20 MHz rata-rata penurunannya untuk 11 kecamatan adalah sebesar 1,83%. Dengan melakukan optimasi ini didapatkan hasil akhir rata-rata jumlah pelanggan untuk semua kecamatan yang dapat tersambung ke jaringan adalah di atas 95%.

3.4.2. Analisis Beban Sel

Pada LTE, kapasitas beban satu sel sangat bergantung pada jumlah *resource* yang tersedia. Tabel 16 merupakan rata-rata beban sel dari hasil simulasi Monte Carlo dengan jumlah pelanggan yang sama.

Tabel 16. Rata-Rata Beban Sel Seluruh Skenario

Bandwidth (MHz)	Beban Sel DL (%)	Beban Sel UL (%)	Aggregate Throughput Sel DL (kbps)	Aggregate Throughput Sel UL (kbps)
5	94,85	61,19	17.759	8.200
10	77,68	33,99	28.639	9.364
15	60,33	23,16	32.773	9.653
20	50,53	18,84	34.633	9.591

Beban sel tertinggi dimiliki oleh bandwidth yang paling rendah, yaitu 5 MHz. Dengan bandwidth tersebut rata-rata beban sel yang dihasilkan oleh seluruh sel adalah 94,85% untuk *downlink* dan 61,19% untuk *uplink*, dengan kata lain beban sel untuk *downlink* hampir penuh. Hal ini disebabkan jumlah RB untuk bandwidth 5 MHz hanya sebanyak 25 RB sehingga hanya mampu menampung kapasitas yang sedikit.

Beban sel terendah dimiliki bandwidth terbesar, yaitu 20 MHz dengan 50,53% untuk *downlink* dan 18,84% untuk *uplink*. Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak ruang kosong bagi pelanggan lain untuk mengakses jaringan karena bandwidth ini memiliki 100 RB.

Aggregate throughput di sini adalah throughput yang mampu dihasilkan oleh suatu sel berdasarkan jumlah throughput pelanggan yang terhubung pada suatu sel. Untuk *downlink* nilai rata-ratanya semakin besar seiring dengan semakin besarnya bandwidth, hal ini menunjukkan bahwa bandwidth yang besar dapat menyediakan throughput pelanggan yang besar seperti ditunjukkan Tabel 17.

Tabel 17. Rata-Rata Throughput Pelanggan

Layanan	Bandwidth (MHz)	Rata-Rata Throughput Pelanggan DL (kbps)	Rata-Rata Throughput Pelanggan UL (kbps)
VoIP	5	8	8
	10	8	8
	15	8	8
	20	8	8
Video Conferenc e	5	475	498
	10	509	509
	15	512	511
	20	512	511

Tabel 17. Rata-Rata Throughput Pelanggan (Lanjutan)

Layanan	Bandwidth (MHz)	Rata-Rata Throughput Pelanggan DL (kbps)	Rata-Rata Throughput Pelanggan UL (kbps)
Internet Access	5	993	835
	10	1.575	966
	15	1.792	997
	20	1.896	1.000
Download/ Upload	5	995	1.355
	10	2.327	1.759
	15	3.068	1.911
	20	3.351	1.940

Besarnya throughput yang didapatkan pelanggan ini bergantung pada jumlah RB yang didapat beserta jenis modulasi yang digunakan. Bandwidth 20 MHz memiliki jumlah 100 RB sehingga alokasi RB untuk setiap pelanggan lebih besar dibanding bandwidth 5 MHz, 10 MHz, dan 15 MHz. Hal ini mengakibatkan bandwidth 20 MHz menghasilkan throughput pelanggan paling besar, sedangkan throughput paling kecil dihasilkan oleh bandwidth 5 MHz yang hanya memiliki jumlah 25 RB. Sementara untuk *uplink*, nilainya cenderung lebih kecil daripada *downlink*, hal ini disebabkan pada *uplink* skema modulasi maksimal yang dapat digunakan adalah 16QAM sehingga menghasilkan throughput yang lebih rendah daripada *downlink*.

4. Kesimpulan

Jumlah eNodeB yang dibutuhkan dalam perencanaan adalah sebanyak 152 *site* dan 453 sel agar area Kota Semarang tercakupi oleh RS minimal (-97 dBm) dan SINR minimal (-6,5 dB) sekurang-kurangnya 95%, sedangkan jumlah pelanggan yang dapat mengakses jaringan hingga ke daerah *indoor* didapatkan sebanyak 98,7% untuk *bandwidth* 5 MHz, 97,1% untuk *bandwidth* 10 MHz, 95,9% untuk *bandwidth* 15 MHz, dan 94,8% untuk *bandwidth* 20 MHz. Untuk memperbaiki kasus pada *bandwidth* 20 MHz dilakukan penambahan daya pemancar sebesar 2 dBm sehingga pelanggan yang dapat mengakses jaringan menjadi 96,3%.

Pada *bandwidth* 20 MHz dihasilkan kapasitas sel dan *throughput* sel paling besar dengan beban sel yang dihasilkan adalah yang terkecil, yaitu 50,53% untuk *downlink* dan 18,84% untuk *uplink*, dan *throughput* sel yang dihasilkan adalah yang terbesar, yaitu 34.633 kbps untuk *downlink* dan 9.591 kbps untuk *uplink*. Sedangkan kapasitas sel dan *throughput* sel terkecil dihasilkan oleh *bandwidth* 5 MHz dengan beban sel yang dihasilkan adalah yang terbesar, yaitu 94,85% untuk *downlink* dan 61,19% untuk *uplink*, dan *throughput* sel yang dihasilkan adalah yang terkecil, yaitu 28.639 kbps untuk *downlink* dan 8.200 kbps untuk *uplink*.

Referensi

- [1] H. Holma dan A. Toskala, "LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced, Second Edition." Finland: John Wiley & Sons, 2011.
- [2] S. Ariyanti, "Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel." Jakarta: 2014.
- [3] S. Ezra, "Uji Throughput FDD Dan TDD Pada Studi Kasus Perencanaan Jaringan Akses LTE Di Kota Bandung," Tugas Akhir, STEI, Program Studi Teknik Telekomunikasi, ITB, Bandung, 2012.
- [4] P. Kurniawan, "Perencanaan Ulang *Site Outdoor Coverage System* Jaringan Radio GSM 900 dan 1800 di Semarang," Tugas Akhir, Teknik Elektro, UNDIP, Semarang, 2006.
- [5] Motorola, "LTE RF Planning Guidelines, Version 1.2." USA: Motorola, 2011.
- [6] J. Zyren, "Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer." USA: Freescale, 2007.
- [7] S. Sesia, I. Toufik, dan M. Baker, "LTE: The UMTS Long Term Evolution From Theory To Practice, Second Edition." UK: John Wiley and Sons, 2011.
- [8] Nokia Siemens Network, "Air Interface Dimensioning." 2011.
- [9] E. Dahlman, "3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband." UK: Elsevier, 2007.
- [10] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "LTE; Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Physical layer procedures." 3GPP TS 36.213 version 10.1.0 release 10. 2010.
- [11] Nokia Siemens Network, "LTE RPESS; LTE Link Budget." 2011.
- [12] T. Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practice, Second Edition." USA: Prentices Hall, 2002.
- [13] U.K. Usman, "LTE: Fundamental Teknologi Seluler." Bandung: Rekayasa Sains, 2011.
- [14] Atoll User Manual Radio version 3.1.2.
- [15] Atoll Technical Reference Guide version 3.2.1.
- [16] R. L. Freeman, "Telecommunication Transmission Handbook, Fourth Edition." Canada: John Wiley & Sons, 1998.
- [17] A.A.M. Ghaleb dkk, "LTE Network Planning And Optimization," Graduation Project, Dept. Communication Engineering, Taiz University, Yaman, 2014.
- [18] Badan Pusat Statistik, "Profil Kependudukan Kota Semarang 2014." Semarang: 2014.