

PERENCANAAN JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE) TIME DIVISION DUPLEX (TDD) 2300 MHz DI SEMARANG TAHUN 2015 – 2020

Yusuf Septiawan^{*)}, Imam Santoso, and Ajub Ajulian Zahra

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

^{*)}Email : yseptiawan@gmail.com

Abstrak

LTE merupakan teknologi *release 8* dikembangkan oleh *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. LTE memberikan kecepatan *downlink* sampai 300 Mbps dan *uplink* 75 Mbps. Operator mempunyai keterbatasan untuk membangun jaringan LTE. Maka perencanaan diperlukan untuk membuat jaringan yang optimal dengan memenuhi kapasitas dan cakupan sesuai kondisi lingkungan tempat jaringan diimplementasikan. Teknologi LTE menurut *division duplexnya* ada dua, yaitu LTE FDD dan LTE TDD. Di Indonesia, LTE FDD digunakan pada frekuensi 1800 MHz dan 900 MHz. Sedangkan LTE TDD digunakan pada frekuensi 2300 MHz. Penelitian ini dilakukan perencanaan jaringan LTE TDD frekuensi 2300 MHz di Semarang tahun 2015 sampai 2020. Simulasi perencanaan dilakukan dengan menggunakan *software Atoll*. Metode yang digunakan yaitu perencanaan cakupan dan perencanaan kapasitas. Parameter masukan yaitu data kependudukan, nilai *link budget*, serta diperlukan pemetaan berisi *clatter class*, kontur bumi, dan kepadatan penduduk untuk menentukan daerah *urban*, *suburban*, dan *rural*. Dari hasil perencanaan didapatkan jumlah eNodeB yang dibutuhkan pada perencanaan cakupan yaitu 161 *site* sedangkan pada perencanaan kapasitas yaitu 46 *site*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah pelanggan sukses tersambung pada perencanaan cakupan sebesar 69,2% sedangkan pada perencanaan kapasitas sebesar 59,2%. Selain itu hasil simulasi menunjukkan bahwa perencanaan cakupan memberikan nilai rata-rata *throughput* tiap pelanggan lebih besar daripada perencanaan kapasitas.

Kata kunci : LTE, TDD, Perencanaan Cakupan, Perencanaan Kapasitas

Abstract

LTE is *release 8* technology developed by *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. LTE can deliver speeds up to 300 Mbps in *downlink* and 75 Mbps in *uplink*. Operators have limitations to build LTE network. So planning is needed to make optimal network while still meeting capacity and coverage in accordance with environment conditions in which the network is implemented. According to *division duplex*, LTE technology divided into two, LTE FDD and LTE TDD. At Indonesia, LTE FDD is used at frequency of 1800 MHz and 900 MHz. While LTE TDD is used at a frequency of 2300 MHz. This research is network planning for LTE TDD frequency of 2300 MHz in Semarang in 2015 until 2020. Simulation of the planning is done by using *software Atoll*. The method used is coverage planning and capacity planning. Input parameters include demographic data, link budget, as well as the necessary initial mapping to determine the urban, suburban, and rural. The result of planning shows eNode number needed at coverage planning is 161 site while at capacity planning is 46 site. The simulation results showed that the number of customers connected at coverage planning is 69,2% while 59,2% at capacity planning. Besides the simulation results show that the coverage planning gives the average value of each customer *throughput* greater than capacity planning.

Keyword : LTE, TDD, Coverage Planning, Capacity Planning

1. Pendahuluan

Pada era digital sekarang ini kebutuhan masyarakat akan layanan *mobile broadband* semakin signifikan. Ini sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi telekomunikasi seluler. Saat ini di Indonesia sudah mulai digelar layanan teknologi seluler LTE. LTE mampu memberikan

kecepatan *downlink* sampai dengan 300 Mbps dan *uplink* 75 Mbps[1].

LTE menyediakan 2 mode operasi, yaitu FDD (*Frequency Division Duplex*) dan TDD (*Time Division Duplex*). FDD menggunakan frekuensi yang berbeda antara *downlink* dan *uplink*. TDD menggunakan frekuensi tunggal baik untuk *downlink* dan *uplink*[1]. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan untuk sistem TDD. Alokasi

frekuensi untuk LTE TDD ini sudah diatur oleh 3GPP. Salah satu *range* frekuensi yang bisa digunakan yaitu pada 2300 MHz hingga 2400 MHz[8]. Tujuan pelaksanaan pada penelitian ini yaitu mengetahui jumlah *eNodeB* yang dibutuhkan serta pemetaan peletakan *eNodeB* untuk mendukung layanan LTE TDD frekuensi 2300 MHz di Kota Semarang pada tahun 2015 sampai dengan 2020 baik dengan metode perencanaan cakupan maupun metode perencanaan kapasitas.

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan perencanaan jaringan LTE yaitu studi perencanaan jaringan LTE area Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi[4]. Pada penelitian tersebut menggunakan metode perencanaan cakupan dan perencanaan kapasitas. Sehingga diketahui jumlah *eNodeB* yang dibutuhkan dalam menyediakan layanan LTE FDD frekuensi 1800 MHz dan 2100 MHz. Studi yang lain yaitu perencanaan jaringan LTE frekuensi 1800 MHz di jembatan Suramadu dengan *Physical Cell Identity* (PCI)[5]. Studi ini menitikberatkan pada pengaruh PCI terhadap kinerja jaringan. Studi yang lain yaitu perencanaan jaringan LTE FDD 1800 Mhz di Kota Semarang menggunakan *software* Atoll[3]. Studi ini menggunakan metode cakupan dan melakukan optimasi pada peningkatan *power* antena *eNodeB*.

2. Metode

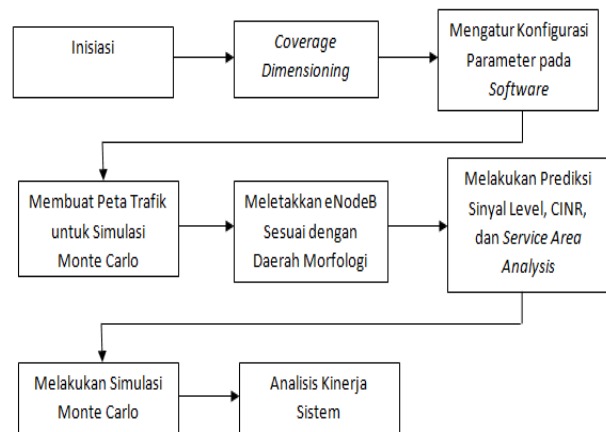
2.1. Perencanaan Jaringan LTE

Pada penelitian ini memiliki batasan masalah yaitu perencanaan tidak berdasarkan *existing tower* (jaringan yang sudah tersedia). Perencanaan tidak menggunakan sistem antena MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Tidak membahas mengenai perangkat telekomunikasi. Tidak melakukan analisis mengenai aspek ekonomi. Data trafik yang digunakan yaitu data estimasi calon pelanggan LTE pada tahun 2020 di Kota Semarang dengan asumsi penetrasi penggunaan LTE sebesar 30 % dari jumlah pelanggan seluler dan asumsi pangsa pasar 20 % dari pasar LTE. Layanan yang disediakan yaitu VoIP, *video conference*, *video streaming*, *web browsing*, dan *file transfer*. Pelanggan dianggap memiliki karakter yang sama dalam mengakses layanan yang disediakan. Peta digital yang digunakan berformat *shp* dan diunduh dari geospasial.net. Tidak melakukan analisis yang mendalam mengenai interferensi dan *noise*. Tidak membahas mengenai *handover* dan *scheduler*. Tidak memperhitungkan faktor kontur bumi. Tidak melakukan optimasi jaringan.

2.2. Perencanaan Cakupan

2.2.1. Alur Perencanaan Cakupan

Salah satu metode yang digunakan pada perencanaan jaringan LTE yaitu perencanaan cakupan.



Gambar 1. Alur Perencanaan Cakupan

2.2.2. Coverage Dimensioning

Coverage Dimensioning merupakan tahap awal dalam perencanaan cakupan. Tujuan dari *Coverage Dimensioning* yaitu untuk menentukan *cell radius* dan mengestimasi jumlah *eNodeB* yang diperlukan dalam suatu wilayah. Untuk menentukan *cell radius* maka harus dilakukan perhitungan *radio link budget* yang bertujuan untuk menghitung nilai MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) antara UE dan *eNodeB*. Nilai MAPL ini dijadikan acuan pada model propagasi, sehingga nilai *path loss*-nya tidak melebihi MAPL. Pada penelitian ini klasifikasi daerah morfologinya yaitu *urban*, *suburban*, dan *rural*. Tabel 1 berikut adalah tabel perhitungan *radio link budget* untuk daerah *urban*.

Tabel 1. Perhitungan Radio Link Budget Daerah Urban

Link Budget	Formula	TDD 15 MHz	
		UL	DL
Operating Band (MHz)	a	2300	
Cell Edge Rate (kbps)	b	256	512
Allocated RB	c	6	10 (75)
Allocated Subcarriers	d	72	120 (900)
Tx RF Power (dBm)	e	23	43
Tx Antenna Gain (dBi)	f	0	18
Feeder Loss per m (dB/m)	g	0	0,05
Feeder Length (m)	h	0	40
Feeder Loss/Line Loss (dB)	i = g x h	0	2
EIRP (dBm)	j = e + f - i	23	59
kT (dbm/Hz)	k = 10 log (k x T)	-174	
Thermal Noise per Subcarrier (dBm)	l = k + 10 log(15000 x d)	-113,6	-102,7
Noise Figure (dB)	m	4,5	7
Required SINR at Cell Edge (dB)	n	-3,7	-2,77

Tabel 1. Lanjutan

Fast Fade Margin (dB)	O	0	0
Rx Sensitivity (dBm)	$p = l + m + n + o$	-112,86	-98,47
Rx Antenna Gain (dBi)	Q	18	0
Rx RF Line Loss (dB)	r	0	2
geometry factor (dB)	S	0	0
Cell load (%)	t	50%	50%
Interference Margin (dB)	$u = -10 \log(1 - t)$	3	3
Body Loss (dB)	v	0	0
Penetration Loss	w	16	16
Cell Area Probability (%)	x	90	90
Standard Deviation (dB)	y	8	8
Shadowing Margin (dB)	$z = y \times 0,67$	5,36	5,36
Isotropic Power Required (dB)	$aa = p - q + u + v + w + z$	-104,5	-74,1
Maximum Path Loss (dB)	$ab = j - aa$	127,5	133,1

Dengan perhitungan yang sama, Tabel 2 berikut ini akan menampilkan nilai MAPL pada daerah *urban*, *suburban*, dan *rural*.

Tabel 2. Perhitungan MAPL Menurut Daerah Morfologi

Parameter	Urban	Suburban	Rural
MAPL Uplink	127,5 dB	137,2 dB	144 dB
MAPL Downlink	133,1 dB	138,4 dB	143,4 dB

Pada penelitian ini dipilih propagasi COST-231 Hata karena dibandingkan dengan COST Walfish-Ikegami, *SUI model*, dan ITU-R (1411.1), memberikan nilai *path loss* terkecil pada frekuensi 2300 MHz. Selain itu dibandingkan dengan *SUI model* dan ITU-R, model propagasi COST-231 Hata memberikan *error* prediksi yang lebih rendah^[2]. Dipilih nilai MAPL terkecil diantara nilai MAPL *uplink* dan *downlink*. Pada perencanaan nantinya menggunakan desain heksagonal yang berbentuk *clover* sehingga radius sel yang dicari itu sama dengan diameter heksagonal. Radius heksagonal merupakan radius sel yang digunakan pada *software*, besarnya adalah setengah dari radius sel utama karena Atoll menerjemahkan radius heksagonal sebagai jari-jari sel. Pada perhitungan model propagasi ini, diasumsikan tinggi antenna *eNodeB* sebesar 30 meter dan tinggi UE sebesar 1,5 meter. Tabel 3 terlihat nilai radius sel sesuai daerah morfologi dari perhitungan model propagasi COST-231 Hata.

Tabel 3. Nilai Radius Sel Sesuai Daerah Morfologi

Parameter	Urban	Suburban	Rural
Radius Utama	620 m	1700 m	5350 m
Radius Heksagonal	310 m	850 m	3500 m

2.2.3. Konfigurasi Parameter Pada Software

2.2.3.1. Peta Digital

Pada perencanaan ini, peta dasar yang dibutuhkan adalah peta digital elevasi, peta tata lahan, dan peta administrasi. Peta elevasi atau ketinggian untuk membuat perencanaan seperti pada keadaan di lapangan, yaitu apakah sinyal

yang dikirim terhalang oleh lereng dan sebagainya. Peta tata lahan berguna untuk menentukan jenis propagasi yang digunakan sesuai dengan keadaan morfologi suatu daerah. Peta administrasi berguna untuk mengklasifikasikan suatu wilayah menurut batas administrasi.



Gambar 2. Peta Digital yang Digunakan

2.2.3.2. Konfigurasi Parameter Jaringan

Konfigurasi parameter jaringan ini dilakukan sesuai dengan *dimensioning coverage*. Feeder yang digunakan mempunyai panjang 40 meter, berukuran 5/4", dan mempunyai nilai *loss per length* sebesar 0,05 dB/m^[8]. Tabel 4 merupakan konfigurasi untuk *frequency band*. Tabel 5 merupakan konfigurasi untuk *template eNodeB*.

Tabel 4. Frequency Band

Name	Duplexing Method	TDD Start Frequency (MHz)	Channel Width (MHz)	Number of RB
2300 TDD - 15 MHz (E-UTRA Band 40)	TDD	2.300	15	75

Tabel 5. Template eNodeB

Name	Number of sectors	Height (m)	Max Power (dBm)	Main Radius (m)	Hexagon radius (m)
15 MHz – Urban	3	30	43	620	310
15 MHz – Suburban	3	30	43	1700	850
15 MHz – Rural	3	30	43	5350	2675

Untuk *radio bearer* digunakan konfigurasi seperti pada Tabel 6. *Radio bearer* merupakan pembawa informasi yang menentukan jenis MCS (*Modulation and Coding Scheme*) yang akan digunakan untuk transmisi *uplink* maupun *downlink*. Penentuan nilai indeks *radio bearer* berdasarkan nilai CINR yang didapat oleh sel atau UE.

Tabel 6. Radio Bearer

Radio Bearer Index	Name	Channel Coding Rate	Bearer Efficiency (bits/symbol)
1	QPSK 1/12	0,0761719	0,1523
2	QPSK 1/9	0,117188	0,2344
3	QPSK 1/6	0,188477	0,377
4	QPSK 1/3	0,300781	0,6016
5	QPSK 1/2	0,438477	0,877
6	QPSK 3/5	0,587891	1,1758
7	16QAM 1/3	0,369141	1,4766
8	16QAM 1/2	0,478516	1,9141
9	16QAM 3/5	0,601563	2,4063
10	64QAM 1/2	0,455078	2,7305
11	64QAM 1/2	0,553711	3,3223
12	64QAM 3/5	0,650391	3,9023
13	64QAM 3/4	0,753906	4,5234
14	64QAM 5/6	0,852539	5,1152
15	64QAM 11/12	0,925781	5,5547

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

2.2.3.3. Membuat Peta Trafik

Pada penelitian ini digunakan distribusi calon pelanggan tahun 2020 dengan mengolah data yang mengacu pada data BPS tahun 2014[7]. Berikut rumus proyeksi jumlah penduduk metode geometrik[6]:

$$Pt = Po (1 + r)t \tag{1}$$

Dengan Pt = Jumlah penduduk pada tahun t, Po = Jumlah penduduk pada tahun dasar, r = Laju pertumbuhan penduduk, t = Periode waktu antara tahun dasar dan tahun t.

Penetrasi pelanggan seluler pada masyarakat di suatu daerah digambarkan melalui angka teledensitas, yaitu perbandingan antara jumlah sambungan dengan jumlah penduduk di daerah tersebut. Berikut merupakan rumus proyeksi teledensitas seluler indonesia[9]:

$$F(2012+m) = 114,31 + 11,81 - (1,29m^2)/2 \tag{2}$$

Sehingga nantinya didapat jumlah pengguna seluler dengan mengalikan nilai teledensitas dengan jumlah penduduk. Pada penelitian ini, diasumsikan penetrasi pengguna LTE pada tahun 2020 mencapai 30% dari total pengguna seluler. Perencanaan jaringan LTE diasumsikan untuk melayani 20% dari total seluruh pengguna LTE.

Tabel 7. Proyeksi Jumlah Pelanggan LTE di Kota Semarang Tahun 2020

Kecamatan	Jumlah Penduduk 2020	Jumlah Pengguna Seluler 2020	Jumlah Pelanggan LTE 2020 (market share 20%)
Banyumanik	140.084	233.940	14.036
Candisari	78.653	131.351	7.881
Gajahmungkur	64.665	107.991	6.479
Gayamsari	72.555	121.167	7.270
Genuk	111.143	185.609	11.136
Gunungpati	87.626	146.336	8.780
Mijen	71.119	118.768	7.126
Ngaliyan	138.549	231.376	13.882
Pedurungan	189.474	316.422	18.985
Smg Barat	156.407	261.199	15.672
Smg Selatan	72.583	121.214	7.273
Smg Tengah	67.222	112.260	6.736
Smg Timur	74.554	124.505	7.470
Smg Utara	129.571	216.384	12.983
Tembalang	193.085	322.452	19.347
Tugu	38.237	63.855	3.831
Total	1.685.528	2.814.832	168.889

Pada penelitian ini diasumsikan konfigurasi layanan dan karakteristik pelanggan untuk seluruh kecamatan adalah sama yang ditunjukkan pada Tabel 8 dan Tabel 9. Setiap pelanggan diasumsikan menggunakan perangkat UE berupa *mobile terminal* kategori kelas 3.

Tabel 8. Konfigurasi Layanan LTE

Name	Priority (0=lowest)	Min TD (DL) (kbps)	Min TD (UL) (kbps)	Max TD (DL) (kbps)	Max TD (UL) (kbps)
VOIP	4	16	16	16	16
Video Conferencing	3	384	384	768	768
Video Streaming	2	1228	614	2356	1228
Web Browser	1	0	0	1024	1024
File Transfer	0	0	0	4096	2048

Tabel 9. Karakteristik Pelanggan LTE

Service	Calls/hour	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
VoIP	0,218	360	360
Video Conferencing	0,109	8.640	8.640
Video Streaming	0,236	40.320	80.640
Web Browser	0,589	14.400	28.800
File Transfer	0,436	3.840	7.680

Peta digital dikelompokkan berdasarkan daerah morfologinya dengan warna tertentu, yaitu daerah *rural* berwarna biru, daerah *suburban* berwarna kuning, dan daerah *urban* berwarna merah.



Gambar 3. Peta Trafik Berdasarkan Daerah Morfologi

Selanjutnya memasukkan data kepadatan pelanggan untuk setiap daerah morfologi, dapat dilihat pada Tabel 11. Diasumsikan semua pelanggan bermobilitas *pedestrian* (3 km/jam).

Tabel 10. Kepadatan Pelanggan Tiap Daerah Morfologi

Daerah Morfologi	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
Urban	Pedestrian	1.051
Suburban	Pedestrian	537
Rural	Pedestrian	166

Peletakan *eNodeB* dilakukan sesuai dengan *template* berdasarkan daerah morfologinya. Hasilnya didapatkan jumlah site sebanyak 161 buah dan jumlah sel sebanyak 483 buah dan hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 3.

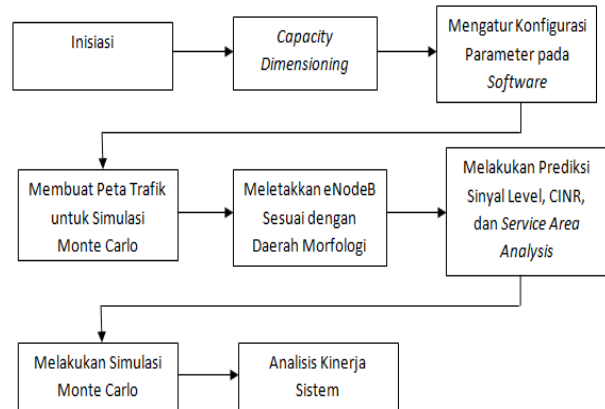


Gambar 4. Peletakan *eNodeB* Perencanaan Cakupan

2.3. Perencanaan Kapasitas

2.3.1. Alur Perencanaan Kapasitas

Metode lain yang digunakan pada perencanaan jaringan LTE yaitu perencanaan kapasitas.



Gambar 5. Alur Perencanaan Kapasitas

2.3.2. Capacity Dimensioning

Capacity Dimensioning merupakan tahap awal dalam perencanaan kapasitas yang bertujuan untuk menentukan *cell radius* dan mengestimasi jumlah *eNodeB* yang diperlukan. Menentukan *cell radius* pada perencanaan kapasitas adalah dengan mengetahui nilai luas sel terlebih dahulu. Luas sel didapat dengan membagi kapasitas satu sel dengan OBQ (*Offered Bit Quantity*) total. Setelah diketahui luas sel, bisa diketahui radius sel dengan rumus sebagai berikut[10]:

$$D = (L/2,6 \times 1,95)^{0,5} \quad (3)$$

Dengan D = radius sel, L = luas sel.

Sedangkan rumus OBQ adalah sebagai berikut[10]:

$$OBQ = \sigma \times p \times d \times (BHCA/3600) \times BW \quad (4)$$

Dengan σ = kepadatan pelanggan (user/km²), p = persentase penggunaan tiap layanan, d = durasi panggilan efektif (sekon), BHCA/3600 = *calls/second*, BW = kbps.

Tabel 11. Nilai d, p, dan BW Tiap Layanan

Jenis Layanan	d (sekon)	p (%)	BW (kbps)
VOIP	180	2	16
Video Conference	120	5	512
Video Streaming	360	40	1792
Web Browsing	300	50	768
File Transfer	30	3	2048

Tabel 12. Nilai OBQ Tiap Daerah Morfologi

Jenis Layanan	OBQ (kbps/km ²)		
	Urban	Suburban	Rural
VOIP	4,5745734	2,33692666	0,722615203
Video Conference	137,1362923	70,05624995	21,66251606
Video Streaming	22264,71783	11373,95952	3517,010702
Web Browsing	24763,24218	12650,33388	3911,686124
File Transfer	290,6199572	148,4635761	45,90731881
Total (Mbps/km²)	(46,34794027)	(23,67690444)	(7,32127859)

Selanjutnya dapat diketahui luas sel, dan radius sel heksagonal. Asumsi area terjangkau oleh modulasi 16 QAM, sehingga untuk *bandwidth* 15 MHz didapat kapasitas sel sebesar 50,4 Mbps. Karena pada perencanaan ini menggunakan sektorisasi 120° atau 3 sektorisasi, maka kapasitas selnya dikalikan 3 menjadi sebesar 151,2 Mbps[10].

Tabel 13. Luas Sel dan Radius Sel Heksagonal Berdasarkan Daerah Morfologi

Parameter	Urban	Suburban	Rural
OBQ total	46,347 Mbps	23,679 Mbps	7,321 Mbps
Kapasitas Sel	151,2 Mbps	151,2 Mbps	151,2 Mbps
Luas Sel	3,262 km ²	6,385 km ²	20,652 km ²
Radius Sel Heksagonal	802 meter	1122 meter	2018 meter

2.3.3. Konfigurasi Parameter Pada Software

2.3.3.1. Peta Digital

Peta digital yang digunakan sama seperti pada perencanaan cakupan. Terlihat seperti Gambar 1.

2.3.3.2. Konfigurasi Parameter Jaringan

Konfigurasi parameter jaringan ini dilakukan sesuai dengan *capacity dimensioning*. Tetapi beberapa parameter yang digunakan sama dengan yang digunakan pada perencanaan cakupan, seperti *feeder*, *frequency band*, *propagasi*, dan *radio bearer*. Daya antena yang dipancarkan, nilainya disesuaikan dengan radius sel. Tinggi antena *eNodeB* yang digunakan, nilainya juga disesuaikan dengan radius sel.

Tabel 14. Konfigurasi Tinggi Antena dan Daya Pancar Maksimum

Parameter	Urban	Suburban	Rural
Tinggi antena	75 meter	40 meter	30 meter
Daya maksimum	48 dBm	46 dBm	43 dBm

Untuk pembuatan *template eNodeB* sesuai dengan daerah morfologi. Pada *template* ini dikonfigurasi juga parameter-parameter yang ada pada perhitungan *capacity dimensioning*, seperti jumlah sektor, tinggi *eNodeB*, daya maksimum, dan jenis propagasi yang digunakan.

Tabel 15. Template eNodeB

Name	Number of sectors	Height (m)	Max Power (dBm)	Main Radius (m)	Hexagon radius (m)
15 MHz – Urban	3	75	48	1604	802
15 MHz – Suburban	3	40	46	2244	1122
15 MHz – Rural	3	30	43	4036	2018

2.3.3.3. Membuat Peta Trafik

Peta trafik yang digunakan pada perencanaan kapasitas sama dengan peta trafik yang digunakan pada perencanaan cakupan. Ini terjadi karena proyeksi pengguna LTE, karakteristik layanan, dan distribusi pelanggan LTE juga sama. Cara peletakan *eNodeB* sama dengan yang digunakan pada perencanaan cakupan. Hasilnya, didapatkan jumlah *site* sebanyak 46 buah dan jumlah sel sebanyak 138 buah dan hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 6. Peletakan eNodeB Perencanaan Kapasitas

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Simulasi Prediksi Cakupan Sinyal Level

Pada Atoll terdapat fasilitas untuk melakukan prediksi cakupan sinyal berdasarkan sinyal level. Cara kerjanya yaitu dengan melakukan prediksi cakupan kekuatan sinyal *transmitter* pada setiap piksel peta digital[11].

Tabel 16. Hasil Simulasi Prediksi Cakupan Sinyal Level

Signal Level (dBm)	% Focus Zone		% Population	
	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas
SL >=-70	19,5	20,2	27,26	25,54
SL >=-75	29,2	30,2	35,91	34,59
SL >=-80	40,2	42	43,52	42,66
SL >=-85	50,4	53,1	49,76	48,36
SL >=-90	63,8	67,2	57,53	55,45
SL >=-95	79,2	78,2	67,91	62,8
SL >=-100	86,4	83,8	77,45	70,36
SL >=-105	91,4	89	87,03	79,8
SL >=-110	94,8	93,7	92,74	89,7
SL >=-115	96,8	95,8	95,74	93,69
SL >=-118	97,5	96,7	96,61	95,01

3.2. Simulasi Prediksi Cakupan Level CINR

Pada Atoll terdapat fasilitas untuk melakukan prediksi cakupan level CINR berdasarkan nilai level CINR atau *Carrier to Interference-Noise Ratio*[11].

Tabel 17. Hasil Simulasi Prediksi Cakupan Level DL CINR

Downlink CINR level (dB)	% Focus Zone		% Population	
	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas
CINR>=20	1,1	2,1	1,04	1,04
CINR>=18	3,3	5	3,14	3,58
CINR>=16	8,9	12,1	7,14	8,88
CINR>=14	15,2	18,9	11,59	13,74
CINR>=12	22,5	25,9	16,86	18,99
CINR>=10	30,2	32,8	22,78	24,46
CINR>=8	38,6	39,4	30,11	29,87
CINR>=6	46,3	46,1	37,28	35,37
CINR>=4	53,2	53,1	43,46	40,93
CINR >=2	60,5	60,4	50,09	47,07
CINR>=0	69	68,5	57,72	54,4
CINR>=-2	77,5	75,9	65,42	60,97
CINR>=-4	80,6	78,9	68,88	63,55
CINR>=-6	81,1	79,4	69,61	63,97
CINR>=-8	81,1	79,4	69,64	63,98

Tabel 18. Hasil Simulasi Prediksi Cakupan Level UL CINR

Uplink CINR level (dB)	% Focus Zone		% Population	
	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas
CINR>=20	0	0	0	0
CINR>=18	0	0	0	0
CINR>=16	0	0	0	0
CINR>=14	0	0	0	0
CINR>=12	35,3	31,1	37,63	27,92
CINR>=10	71,5	71,8	61,94	56,47
CINR>=8	71,5	71,8	61,94	56,47
CINR>=6	80,8	76,8	69,31	59,81
CINR>=4	80,8	77,9	69,31	61,51
CINR >=2	81,1	79,2	69,66	63,52
CINR>=0	81,1	79,4	69,66	63,98
CINR>=-2	81,1	79,4	69,66	63,98
CINR>=-4	81,1	79,4	69,66	63,98
CINR>=-6	81,1	79,4	69,66	63,98
CINR>=-8	81,1	79,4	69,66	63,98

3.3. Simulasi Prediksi Service Area Analysis

Pada Atoll terdapat fasilitas untuk melakukan prediksi *service area analysis* yang menunjukkan *bearer* yang digunakan pada suatu wilayah. *Bearer* ini menggunakan nilai level *downlink* CINR sebagai acuan[11].

Tabel 19. Hasil Simulasi Prediksi Service Area Analysis DL

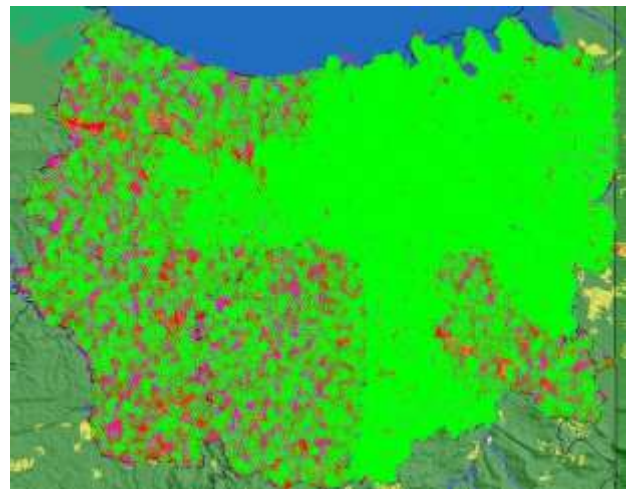
Service Area Analysis DL (dB)	% Focus Zone		% Population	
	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas
64QAM 11/12	4,4	6,5	3,89	4,71
64QAM 5/6	6,6	9,4	5,48	6,93
64QAM 3/4	10,1	13,5	7,99	9,86
64QAM 3/5	15,9	19,6	12,07	14,26
64QAM 1/2	18,7	22,4	14,12	16,31
64QAM 1/2	23,3	26,6	17,44	19,5
16QAM 3/5	24,8	28	18,56	20,56
16QAM 1/2	30,2	32,8	22,78	24,46
16QAM 1/3	44,3	44,1	35,27	33,77
QPSK 3/5	56,8	56,7	46,69	43,94
QPSK 1/2	64,6	64,5	53,83	50,78
QPSK 1/3	73,5	72,5	61,67	57,97
QPSK 1/6	78,9	77,1	66,87	61,96
QPSK 1/9	80,6	78,9	68,88	63,55
QPSK 1/12	81,1	79,4	69,64	63,98

Tabel 20. Hasil Simulasi Prediksi Service Area Analysis UL

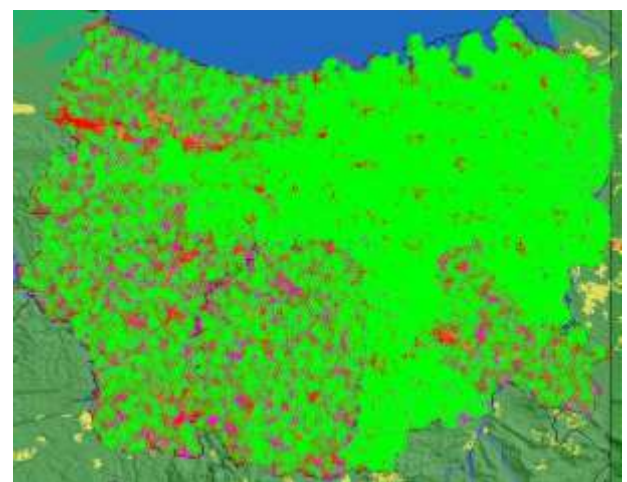
Service Area Analysis UL (dB)	% Focus Zone		% Population	
	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas
64QAM 11/12	0	0	0	0
64QAM 5/6	0	0	0	0
64QAM 3/4	0	0	0	0
64QAM 3/5	0	0	0	0
64QAM 1/2	0	0	0	0
64QAM 1/2	0	0	0	0
16QAM 3/5	66,8	68,2	59,23	54,65
16QAM 1/2	71,5	71,8	61,94	56,47
16QAM 1/3	80,8	76,8	69,31	59,81
QPSK 3/5	81,1	78,8	69,66	62,79
QPSK 1/2	81,1	79,4	69,66	63,98
QPSK 1/3	81,1	79,4	69,66	63,98
QPSK 1/6	81,1	79,4	69,66	63,98
QPSK 1/9	81,1	79,4	69,66	63,98
QPSK 1/12	81,1	79,4	69,66	63,98

3.4. Simulasi Monte Carlo

Berikut gambar 7 dan gambar 8 merupakan hasil dari simulasi Monte Carlo.



Gambar 7. Simulasi Monte Carlo Perencanaan Cakupan



Gambar 8. Simulasi Monte Carlo Perencanaan Kapasitas

Tabel 21. Jumlah Pelanggan Menginginkan Sambungan Hasil Simulasi Monte Carlo

Perenc.	Jumlah Pelanggan Menginginkan Sambungan	Jumlah Pelanggan Tersambung	Jumlah Pelanggan Gagal Tersambung
Cakupan	28.076	19.435 (69,2%)	8.641 (30,8%)
Kapasitas	28.247	16.716 (59,2%)	11.531 (40,8%)

Tabel 22. Pelanggan Tersambung Hasil Simulasi Monte Carlo

Perencanaan	Jumlah Pelanggan Tersambung		
	Downlink	Uplink	Downlink + Uplink
Cakupan	11.858	7.343	234
Kapasitas	10.018	6.535	163

Tabel 23. Pelanggan Tidak Tersambung Hasil Simulasi Monte Carlo

Perenc.	Jumlah Pelanggan Tidak Tersambung			
	No Coverage	No Service	Scheduler Saturation	Resource Saturation
Cakupan	5.889	2	0	2.740
Kapasitas	7.486	2	0	4.043

Tabel 24. Distribusi Layanan Hasil Simulasi Monte Carlo

Perenc.	Jumlah Pelanggan Tersambung					
	VoIP	Video Conferenc e	Video Streamin g	Web Browsin g	Filer Transfer	
Cakupan	3.20	1	950	4.018	10.231	1.035
Kapasitas	2.88	2	924	2.430	9.516	964

Tabel 25. Rata-rata Throughput Tiap Pelanggan

Layanan	Throughput Downlink (kbps)		Throughput Uplink (kbps)	
	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas	Perenc. Cakupan	Perenc. Kapasitas
VOIP	15,45	15,37	15,225	15,02
Video Conference	532,49	379,14	529,21	391,56
Video Streaming	1607,78	1222,71	897	640,07
Web Browsing	328,72	21,2	276,92	39,02
File Transfer	589,74	24,62	406,24	33,46

4. Penutup

Jumlah *eNodeB* yang dibutuhkan pada perencanaan cakupan yaitu 161 *site* sedangkan pada perencanaan kapasitas yaitu 46 *site*. Hasil simulasi prediksi sinyal level menunjukkan bahwa perencanaan cakupan memberikan luas cakupan area (sinyal level hingga -118 dBm) sebesar 97,5 % dari Kota Semarang sedangkan perencanaan kapasitas memberikan luas cakupan area (sinyal level hingga -118 dBm) sebesar 96,7 % dari Kota Semarang. Hasil simulasi prediksi sinyal level CINR menunjukkan bahwa perencanaan cakupan memberikan luas cakupan

area (level CINR hingga -6,5 dB) sebesar 81,1 % dari Kota Semarang sedangkan perencanaan kapasitas memberikan luas cakupan area (level CINR hingga -6,5 dB) sebesar 79,4 % dari Kota Semarang. Hasil simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa persentase jumlah pelanggan yang sukses tersambung pada perencanaan cakupan sebesar 69,2 % sedangkan pada perencanaan kapasitas sebesar 59,2 %. Hasil simulasi Monte Carlo menunjukkan bahwa perencanaan cakupan memberikan nilai rata-rata throughput tiap pelanggan yang lebih besar daripada perencanaan kapasitas.

Untuk penelitian lebih lanjut dengan topik serupa direkomendasikan untuk melakukan penelitian mengenai *forecasting* penetrasi LTE, *forecasting* trafik layanan *mobile broadband*, interferensi dan *noise* pada suatu jaringan, dan optimasi jaringan.

Reference

- [1]. Holma, Harri. "LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced, Second Edition." Finland: John Wiley & Sons. 2009.
- [2]. Chhaya Dalela. "Comparative Study of Radio Channel Propagation and Modeling for 4G Wireless Systems." International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). June 2013.
- [3]. M. Ridwan Fauzi. "Perencanaan Jaringan LTE FDD 1800 MHz di Kota Semarang Menggunakan Atoll." Semarang : Undip. 2015
- [4]. Sri Ariyanti. Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel. Puslitbang Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika. 2014.
- [5]. Andhan Marhadi. "Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Frekuensi 1800 MHz di Jembatan Suramadu dengan Physical Cell Identity (PCI). Bandung : Universitas Telkom.
- [6]. BPS. "Proyeksi Penduduk Indonesia 2010 – 2035." Jakarta : 2013.
- [7]. Badan Pusat Statistik, "Profil Kependudukan Kota Semarang 2015." Semarang : 2015.
- [8]. Huawei Technologies. "Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide." 2011.
- [9]. Kasmad Ariansyah. "Proyeksi Jumlah Pelanggan Telepon Seluler Bergerak di Indonesia." Kominfo. 2014.
- [10]. Uke, Galuh, Donny, Sigit. "Fundamental Teknologi Seluler LTE." Bandung : Rekayasa Sains. 2011.
- [11]. Atoll User Manual Radio version 3.1.2.