

Simulasi Perencanaan *Site Outdoor Coverage System* Jaringan Radio LTE di Kota Bandung Menggunakan *Spectrum* Frekuensi 700 MHz, 2,1 GHz dan 2,3 GHz

Nanang Ismail, Innel Lindra, Agung Prihantono

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati

Jl. A.H Nasution No. 105 Bandung

e-mail: nanang.is@uinsgd.ac.id, innellindra@yahoo.com, agungprihantono@gmail.com

Abstrak – *Long Term Evolution (LTE)* dirancang untuk memberi solusi terhadap peningkatan kebutuhan layanan komunikasi yang semakin cepat. Akan tetapi ketersediaan alokasi frekuensi untuk LTE telah penuh, sehingga harus dilakukan pengaturan ulang frekuensi agar teknologi LTE ini bisa digunakan. Ada beberapa opsi mengenai frekuensi yang akan digunakan, yaitu Televisi analog (700 Mhz), GSM (1800 Mhz), 3G (2100 Mhz) dan WiMax (2300 Mhz). Pada makalah ini dibuat suatu simulasi perencanaan *site outdoor coverage system* jaringan radio LTE menggunakan *spectrum* frekuensi 700, 2100, 2300 MHz dengan target area kota Bandung dengan luas wilayah 167,7 Km², terdiri dari 30 kecamatan dan 155 kelurahan agar dapat melayani pelanggan hingga tahun 2014 atau 2018 mendatang. Tahap pertama penelitian ini merupakan pengumpulan data jumlah penduduk dan peta digital kota Bandung untuk diolah hingga diperoleh estimasi jumlah penduduk kota Bandung tahun 2014 dan 2018 serta pembagian tipe area untuk setiap kelurahan. Tahap kedua merupakan analisis nominal RF Planning yang terdiri dari analisis berdasarkan keperluan trafik dan keperluan analisis. Analisis keperluan cakupan dilakukan berdasarkan perhitungan anggaran daya (link budget) serta perhitungan jari-jari sel menggunakan model propagasi outdoor Okumura-Hatta, Walfish-Ikegami dan Stanford University Interim. Analisis keperluan trafik didasarkan pada perhitungan kebutuhan trafik dan kapasitas site. Kedua hasil analisis tersebut kemudian dibandingkan dan hasil nominal RF planning yang terbanyak dipilih sebagai dasar perhitungan selanjutnya hingga diperoleh suatu rekomendasi perancangan jaringan radio LTE di kota Bandung. Tahap ketiga merupakan analisis peletakan site. Dari hasil perencanaan *site outdoor coverage system* jaringan radio LTE menggunakan frekuensi 2,1 GHz, 2,3 GHz dan 700 MHz di kota Bandung diperoleh frekuensi yang paling cocok untuk teknologi LTE yaitu frekuensi 700 MHz menggunakan bandwidth 20 MHz, dengan jumlah site 27 buah untuk mencover area kota Bandung.

Kata Kunci: Perencanaan, Propagasi, Site, LTE, Bandung.

1. Pendahuluan

LTE adalah teknologi generasi keempat setelah GSM dan WCDMA. Indonesia bisa dikatakan negara yang tertinggal dalam dunia telekomunikasi, karena hingga saat ini pengimplementasian teknologi LTE di Indonesia belum juga terlaksana dikarenakan beberapa faktor. Beberapa faktor penghambatnya yaitu dari sisi pengguna mengingat masih mahalnya harga yang ditawarkan kepada masyarakat untuk dapat memiliki ponsel atau dongle yang bisa mengakses LTE. Selain itu masalah juga terjadi pada frekuensi yang akan digunakan untuk teknologi ini, mengingat hampir semua frekuensi yang disediakan oleh pemerintah telah digunakan pada teknologi lainnya.

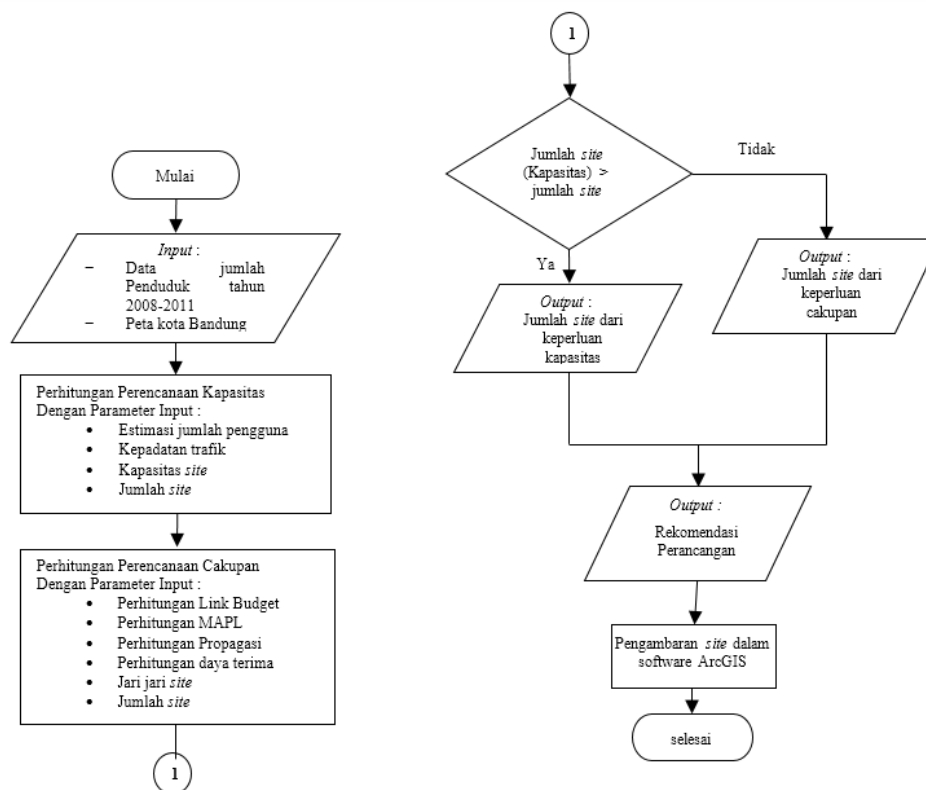
Ada beberapa opsi mengenai frekuensi yang akan digunakan, yaitu UHV (700 Mhz), GSM (1800 Mhz), 3G (2100 Mhz) dan WiMax (2300 Mhz) [4]. Namun yang paling memungkinkan untuk digunakan oleh teknologi LTE adalah menunggu penyelesaian perpindahan frekuensi

televisi analog (700 MHz) menjadi televisi digital pada 2018. Jika ini selesai, maka frekuensi tersebut akan kosong dan bisa ditempati oleh frekuensi LTE [4].

Perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan jaringan LTE yang mencakup analisis frekuensi LTE yang akan digunakan di Indonesia, perencanaan untuk penempatan *site eNodeB* berdasarkan kapasitas dan cakupan. Pada perencanaan berdasarkan kapasitas akan dilakukan perhitungan kapasitas *eNodeB* dan OBQ (*Offered Bit Quantity*) sehingga bisa didapatkan jumlah *site* yang di butuhkan. Sedangkan pada perencanaan berdasarkan cakupan akan dilakukan perhitungan *link budget* yaitu mencakup perhitungan rugi-rugi lintasan pada masing masing tipe area sehingga bisa didapatkan jumlah *site* yang dibutuhkan. Penelitian ini dibuat dalam 3 perencanaan yaitu *plan A* untuk frekuensi 2100 Mhz pada tahun 2014, *plan B* frekuensi 2300 Mhz pada tahun 2014 dan *plan C* untuk frekuensi 700 Mhz pada tahun 2018. Pada tiap frekuensi menggunakan *bandwidth* yang berbeda sesuai dengan ketersediaan frekuensi yang di tetapkan pemerintah, pada frekuensi 700 MHz menggunakan *bandwidth* 20 MHz, frekuensi 2100 MHz menggunakan 10 MHz, frekuensi 2300 menggunakan 15 MHz. Pada tiap frekuensi menggunakan tiga tipe modulasi yang berbeda untuk membandingkan penggunaan modulasi mana yang dinilai paling baik.

2. Metodologi Penelitian

Perencanaan jaringan secara umum bertujuan untuk membangun jaringan seefektif dan seefisien mungkin, oleh karena itu pada perencanaan ini banyak faktor yang harus diperhatikan. Beberapa hal yang harus diperhatikan adalah perkiraan penentuan alokasi frekuensi yang akan digunakan, karena saat ini pengalokasian frekuensi tersebut masih dalam perundingan oleh pemerintah. Selain itu hal lain yang harus diperhatikan yaitu permintaan untuk memenuhi kebutuhan yang akan datang, termasuk kapasitas dan coverage-nya. Adapun alur dari proses perencanaan LTE ini, seperti yang terlihat pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir perencanaan LTE

2.1. Alokasi Frekuensi

Pada perencanaan ini perlu dilakukan alokasi frekuensi yang bertujuan untuk memperkirakan bandwidth yang akan digunakan untuk frekuensi-frekuensi kerja yang digunakan pada perencanaan ini.

Pada frekuensi 700 MHz alokasi *bandwidth* yang disediakan adalah pada frekuensi 694 - 806 MHz maka *bandwidth* yang disediakan adalah 112 MHz, diasumsikan frekuensi ini menggunakan teknologi TDD. Pada frekuensi 2100 mengambil dari pengalokasian *bandwidth* sebelumnya yang digunakan oleh teknologi 3G yaitu pada frekuensi 1920 – 2170 MHz. Teknologi yang digunakan untuk frekuensi ini diasumsikan adalah TDD yaitu antara frekuensi *uplink* dan *downlink* pada 1920 – 2170 MHz. Pada frekuensi 2300 MHz frekuensi yang disediakan adalah 2300 – 2400 MHz, diasumsikan pada frekuensi ini menggunakan teknologi TDD.

Untuk Pengalokasian *bandwidth*-nya menggunakan tiga *bandwidth* yang berbeda berdasarkan asumsi. Frekuensi kerja yang pertama adalah 700 MHz dan *bandwidth* yang digunakan adalah 20 MHz untuk *uplink* dan *downlink*. Kemudian frekuensi lain yang digunakan adalah pada frekuensi 2100 MHz dengan asumsi berdasarkan pembagian *bandwidth* pada 3G yaitu 10 MHz *Uplink* dan 10 MHz *downlink*. Untuk Frekuensi 2300 MHz diasumsikan mendapat *bandwidth* 15 MHz untuk *Uplink* dan *downlink*.

Parameter *link budget* arah *uplink* dan *downlink* ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2 di bawah ini

:

Tabel 1. Parameter *Uplink*

Parameter	Tanda	Keterangan
LTE 700 MHz		
Transmitter – UE		
Tinggi Antena MS	A	<i>Manufacturer Dependent</i>
Daya pancar (dBm)	B	23 dBm
Penguatan antena pemancar (dBi)	C	(-5)-10 dBi
<i>Body loss</i> (dB)	D	2-6 dB
EIRP	$E = A+B-C-D$	
Receiver - eNB		
Tinggi Antena eNB	F	<i>Manufacturer Dependent</i>
Penguatan antena penerima (dBi)	G	15-21 dBi
<i>Cable loss</i> (dB)	H	
<i>Connector loss</i> (dB)	I	0,42 dB/buah
<i>Noise Figure</i> (dB)	J	4 dB
<i>Thermal noise</i> (dBm)	K	
<i>Receiver Noise</i> (dBm)	$L = K+j$	
SINR (dB)	M	Standar
<i>Implementation Margin</i> (dB)	N	Standar
<i>Diversity gain</i> (dB)	O	3-8 dB
<i>Interferensi Margin</i> (dB)	P	2 dB
MHA <i>gain</i> (dB)	Q	2 dB
<i>Soft Handover</i> (dB)	R	4 dB
<i>Receiver Sensitivity</i> (dBm)	$S = L+M+N-O$	
Propagasi		
MAPL	$T = E-S-N-H-I+G-Q+R$	
Daya Diterima	$U = B+C+H-I-T$	

Tabel 2. Parameter *Downlink*

Parameter	Tanda	Keterangan
LTE 700 MHz		
Transmitter - eNB		
Daya pancar (dBm)	A	43-48 dBm
Penguatan antena pemancar (dBi)	B	15-21 dBi
<i>Cable loss</i> (dB)	C	Persamaan
<i>Connector loss</i> (dB)	D	0,42 dB/buah
Tinggi Antena eNB	E	<i>Manufacturer Dependent</i>
EIRP	F = A+B-C-D	
Receiver - UE		
Tinggi Antena MS	G	<i>Manufacturer Dependent</i>
Penguatan antena penerima (dBi)	H	(-5)-10 dBi
<i>Body loss</i> (dB)	I	2-6 dB
<i>Noise Figure</i> (dB)	J	6-11 dB
<i>Thermal noise</i> (dBm)	K	
<i>Receiver Noise</i> (dBm)	L = K+ J	
SINR (dB)	M	Standar
<i>Implementation Margin</i> (dB)	N	Standar
<i>Diversity gain</i> (dB)	P	3 dB
<i>Interferensi margin</i> (dB)	Q	3-8 dB
<i>Control channel overhead</i> (dB)	R	1.0 dB
<i>Receiver Sensitivity</i> (dBm)	S = L+M+N-P	
Propagasi		
MAPL	T = F-S-N-R+H-I	
Daya Diterima	U = E-T+G-H-I	

2.2. Perencanaan Kapasitas

1) Offered Bit Quantity

Untuk melakukan perkiraan kepadatan trafik pada LTE digunakan OBQ (*Offered Bit Quantity*). OBQ adalah total *bit throughput* per km² pada jam sibuk. Untuk menghitung OBQ digunakan persamaan 1 di bawah ini:

$$OBQ = c_T \times \sigma \times p \times d \times BHCA \times BW \quad (1)$$

Keterangan :

OBQ = *Offered Bit Quantity*, c_T = Persentase berdasarkan tipe area (*Building, Pedestrian, Vehicular*), σ = Kepadatan pelanggan suatu daerah (*user/km²*), p = Penetrasi pengguna tiap layanan (%), d = Durasi panggilan efektif (sec), $BHCA$ = *Busy hour call atemp*, BW = *Net user bit rate* (Kbps).

2) Luas Area Cakupan Site

Setelah didapatkan nilai keduanya maka dapat dihitung sesuai dengan persamaan 2 di bawah ini[2]:

$$L = T_{\text{offered}} / T_{\text{offered site}} \quad (2)$$

Keterangan :

L = Luas area cakupan, T_{offered} = Total *offered traffic*, $T_{\text{offered site}}$ = Total *offered traffic site*

3) Jari-Jari sel

Setelah didapatkan luas tiap *site*, maka bisa dihitung jari-jari sel *eNodeB* yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$d = \frac{\sqrt{\frac{L}{0,785}}}{2} \quad (3)$$

Keterangan :

d = Jari-jari, L = Luas area cakupan, $0,785 = \frac{1}{4} \times \pi$

4) Jumlah Site

Setelah didapatkan luas tiap *site* dan jari-jari sel, maka bisa dihitung jumlah *eNodeB* yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut[8]:

$$\text{Jumlah site} = \text{Luas area} / \text{Luas radius site} \quad (4)$$

2.3. Perencanaan Kapasitas

1) Luas Area Cakupan

Pada perencanaan berdasarkan kebutuhan cakupan jari-jari sel tergantung dari hasil perhitungan propagasi pada masing-masing frekuensi. Sedangkan untuk mencari luas cakupan seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 5 di bawah ini[7]:

$$L = \pi \times (\text{Jari-jari sel})^2 \quad (5)$$

Keterangan :

$\pi = 3,14$, L = Luas area

2) Jumlah site

Setelah didapat luas total cakupan area, selanjutnya untuk mencari jumlah *site* digunakan persamaan 6 di bawah ini[7]:

$$\text{Jumlah site} = \frac{\text{Luas total cakupan area}}{\text{luas area site}} \quad (6)$$

Setelah didapatkan jumlah *site* pada perencanaan berdasarkan kapasitas dan cakupan, maka langkah selanjutnya adalah membandingkan kedua perencanaan tersebut dan mengambil jumlah *site* terbanyak untuk digunakan sebagai hasil akhir perencanaan.

3. Perancangan Simulasi

Pada tahap ini merupakan tahap pembuatan program hitung yang dapat menghasilkan *nominal RF planning* yang digunakan sebagai rekomendasi pada tahap yang terakhir. Program hitung ini dibuat menggunakan microsoft excel 2007 dan bahasa pemrograman visual basic. Alasan pemilihan microsoft excel 2007 karena lebih mengefisiensikan waktu dalam pembuatannya dibandingkan harus menggunakan software pemrograman lainnya yang lebih sulit dan memakan waktu dalam pembuatannya, microsoft excel merupakan salah satu software yang dapat melakukan perhitungan matematis kompleks. Kemudian alasan penggunaan visual basic karena mudah dalam pemrogramannya, dapat berinteraksi dengan microsoft excel.

4. Perencanaan Jaringan LTE

4.1. Coverage Planning

Bentuk muka bumi mempengaruhi propagasi gelombang radio. Pembagian tipe daerah dibedakan berdasarkan struktur yang dibuat manusia (*human-made structure*) dan keadaan alami daerah, tipe-tipe tersebut antara lain:

1. Terrain C (daerah Rural), yaitu daerah yang jumlah bangunan sedikit dan jarang, alam terbuka.

Contoh : Pedesaan

2. Terrain B (daerah Suburban), jumlah bangunan yang mulai padat, tinggi rata-rata antara 12 – 20 m dan lebar 18 – 30 m.
Contoh : pinggiran kota , kota- kota kecil.
3. Terrain A (daerah Urban), memiliki gedung-gedung yang rapat dan tinggi.

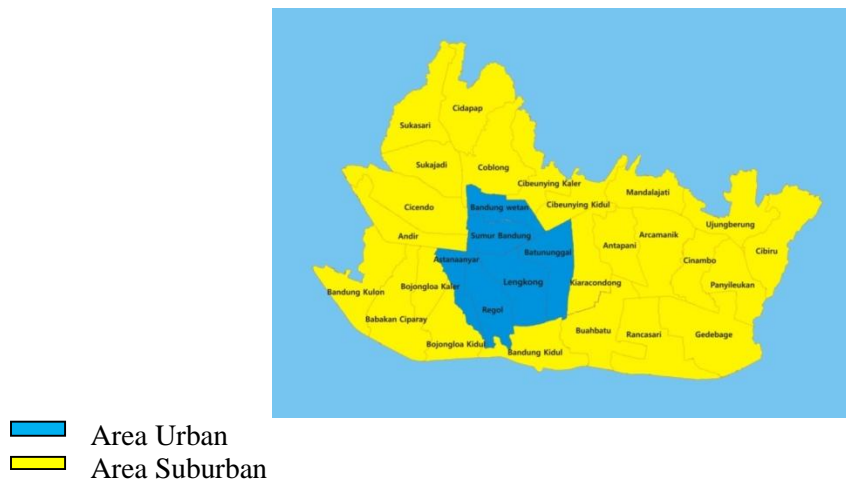
Contoh : daerah pusat kota baik metropolis maupun kota menengah

Detail pembagian wilayah ini dibahas lebih jelas di sub bab 2.3.2 Tipe ini akan menentukan model propagasi yang digunakan.

Analisis pada tahap ini bertujuan untuk membagi area perancangan yaitu kota Bandung menjadi 2 kategori tipe area, urban dan suburban. Analisis penentuan tipe area kota Bandung menghasilkan data sebagai berikut:

1. Tipe area urban terdiri dari 9 kelurahan dengan luas area 24,91 Km² dengan jumlah penduduk 400913 orang.
2. Tipe area suburban terdiri dari 75 kelurahan dengan luas area 142,4 Km² dengan jumlah penduduk 2024044 orang.

Gambar 2 menunjukkan pembagian tiap kelurahan kota Bandung ke dalam tipe area urban dan suburban.



Gambar 2. Posisi site eNode B di kota Bandung

Berikut ini adalah hasil perhitungan MAPL untuk frekuensi 700, 2100 dan 2300 Mhz berdasarkan tipe area dan berdasarkan tipe modulasi yaitu, QPSK, 16QAM, 64QAM.

Tabel 3. Hasil perhitungan *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL)

Maximum Allowable Pathloss (MAPL)					
Tipe Modulasi	Frekuensi (MHz)	Urban		Sub-Urban	
		Uplink (dB)	Downlink (dB)	Uplink (dB)	Downlink (dB)
QPSK	700	132,6	146,6	131,4	145,43
16QAM		126,2	140,2	125,0	139,03
64QAM		117,8	131,8	116,6	130,63
QPSK	2100	135,7	149,7	135,0	148,98
16QAM		129,3	143,3	128,6	142,58

Maximum Allowable Pathloss (MAPL)					
Tipe Modulasi	Frekuensi (MHz)	Urban		Sub-Urban	
		Uplink (dB)	Downlink (dB)	Uplink (dB)	Downlink (dB)
64QAM		120,9	134,9	120,2	134,18
QPSK	2300	133,9	147,9	132,7	146,73
16QAM		127,5	141,5	126,3	140,33
64QAM		119,1	133,1	117,9	131,93

5.2. Analisis Perbandingan dan Rekomendasi Perancangan

Analisis pada tahap ini merupakan bagian akhir dari analisis perencanaan pada LTE. Keluaran dari analisis ini merupakan rekomendasi yang digunakan untuk melakukan perancangan jaringan radio LTE di kota Bandung. Parameter yang dibutuhkan dalam analisis ini adalah nominal *site* berdasarkan keperluan cakupan dan keperluan kapasitas. Nilai dari jumlah *site* berdasarkan keperluan cakupan akan dibandingkan dengan keperluan kapasitas dan diambil jumlah *site* terbanyak. Hal itu dikarenakan dengan memilih jumlah *site* terbanyak maka semakin kecil jari-jari sel yang dihasilkan. Jari-jari sel tersebut telah mempertimbangkan kedua aspek baik dari keperluan cakupan maupun kapasitas. Karena pada perencanaan cakupan modulasi QPSK menghasilkan jumlah *site* yang sedikit maka modulasi yang diambil adalah QPSK, begitu pula pada perencanaan kapasitas.

Tabel 4. Perbandingan jumlah *site* berdasarkan cakupan dan kapasitas

	Bandwidth (MHz)	Urban			Suburban		
		QPSK	16QAM	64QAM	QPSK	16QAM	64QAM
Perencanaan Kapasitas							
Jumlah <i>site</i>	10	8	4	2	43	22	10
	15	5	3	2	29	14	10
	20	4	2	1	23	11	8
Perencanaan Cakupan							
Jumlah <i>site</i>	10	10	22	60	21	46	128
	15	9	13	23	41	57	99
	20	2	4	13	2	5	16

Seperti yang terlihat pada tabel 4 diperoleh rekomendasi nominal RF *planning* perencanaan jaringan radio LTE kota Bandung sebagai berikut:

- 1) Pada frekuensi 700 MHz pada area jumlah *site* berdasarkan keperluan kapasitas lebih banyak dibandingkan dengan keperluan cakupan, begitu pula pada area sub-urban. Maka total *site* yang digunakan pada frekuensi 700 MHz adalah 4 *site* pada area urban dan 23 *site* pada area sub-urban.
- 2) Pada frekuensi 2100 MHz pada area urban jumlah *site* berdasarkan keperluan cakupan lebih banyak dibandingkan dengan keperluan kapasitas, namun pada area sub-urban kebutuhan kapasitas lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan cakupan. Maka total *site* yang digunakan pada frekuensi 2100 MHz adalah 10 *site* pada area urban dan 43 *site* pada area sub-urban.
- 3) Yang terakhir pada frekuensi 2300 MHz pada area urban jumlah *site* berdasarkan keperluan cakupan lebih banyak dibandingkan dengan keperluan kapasitas, begitu pula pada area sub-

urban. Maka total *site* yang digunakan pada frekuensi 2300 MHz adalah 9 *site* pada area urban dan 41 *site* pada area sub-urban.

Tabel 5. Rekomendasi perencanaan *site*

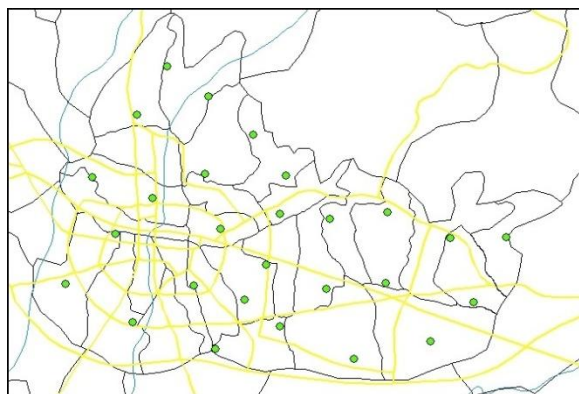
Tipe Area	Frekuensi (MHz)	Jari-jari sel (Km)	Luas Area Cakupan (Km ²)	Jumlah <i>site</i>
Urban	700	1,5046955	7,109300792	4
	2100	0,8878475	2,475177971	10
	2300	0,9156138	2,632414586	9
Suburban	700	1,4050788	6,199133928	23
	2100	1,0261984	3,306680885	43
	2300	1,0525319	3,478565478	41

Dari hasil rekomendasi *site* pada tabel 5 dapat dilihat bahwa perencanaan LTE menggunakan frekuensi 700 MHz memiliki jumlah *site* lebih sedikit, sehingga dianggap lebih efisien dibanding frekuensi lainnya. Oleh karena itu perencanaan yang akan digunakan adalah frekuensi 700 MHz.

5.3. Analisis Peletakan Site

Seperti yang telah di jelaskan pada diagram alir gambar 1, bahwa tahap ini merupakan tahap terakhir. Setelah kompoen pada tahap pertama yaitu peta dasar kota Bandung telah siap, dan komponen pada tahap kedua yaitu perhitungan nominal *site* telah didapatkan maka hal selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan lokasi *site* dengan mempertimbangkan beberapa hal.

Dari hasil visualisasi perencanaan LTE menggunakan frekuensi 700 MHz yang ada pada gambar 3 didapatkan 27 *site* untuk mencakup kota Bandung dengan 12 *site* existing dan 15 jaringan baru.



Gambar 3. Posisi *site* eNode B di kota Bandung

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

Hasil perencanaan site outdoor jaringan radio LTE di kota Bandung menggunakan frekuensi 700, 2100 dan 2300 MHz didapatkan:

1. Tipe modulasi yang paling baik digunakan untuk LTE adalah QPSK, karena penggunaan tipe modulasi QPSK menghasilkan jumlah site yang sedikit dibandingkan dengan tipe modulasi lainnya.
2. Dari segi implementasi penggunaan frekuensi 2100 dan 2300 MHz lebih cocok untuk digunakan oleh teknologi LTE karena dapat digunakan pada tahun 2014, di bandingkan dengan frekuensi 700 MHz yang harus menunggu perpindahan frekuensi televisi analog ke digital di tahun 2018.
3. Dari segi efisiensi, penggunaan frekuensi 700 MHz paling cocok digunakan pada teknologi LTE karena dinilai lebih efisien dalam penggunaan jumlah eNode B untuk mengcover kota Bandung, yaitu 4 buah site dengan jari-jari site sebesar 1,504695495 Km untuk area urban dan 23 buah site dengan jari-jari site sebesar 1,405078814 Km untuk area sub urban.

6.2. Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian lanjutan dapat ditambahkan analisis mengenai *frequency planning* dan interferensi yang terjadi dalam perancangan jaringan radio LTE.
2. Perencanaan dapat dikembangkan dengan menggunakan frekuensi yang berbeda dan dihitung dari segi ekonominya.
3. Untuk penelitian lanjutan dapat dikembangkan dengan melakukan perencanaan pada sisi *indoor*.

Daftar Pustaka

- [1]. Anisah, Ida. *Analisis Link Budget Pada Teknologi Long Term Evolution (LTE)*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2012.
- [2]. Azis, S.G., *Perencanaan Jaringan Long Term Evolution (LTE) Berdasarkan Node B UMTS Existing di Kota Denpasar*, Institut Teknologi Telkom, 2011.
- [3]. Darlis, A.R. *Pengukuran Model Propagasi Outdoor dan Indoor Sistem WiMAX 2,3 GHz di Lingkungan Kampus ITB. Prosiding Seminar Radar Nasional 2010., Yogyakarta, 28-29 April 2010., ISSN : 1979-2921*, 2010.
- [4]. Guwindo, D.S. *Forecasting Alokasi Spectrum Frekuensi Seluler di Surabaya*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2012.
- [5]. Hidayat, S.W. *4 Skenario 4G di Indonesia*. Diakses pada 4 April 2015 dari <http://tekno.kompas.com/read/2011/12/27/13162769/ini.dia.4.skenario.4g.di.indonesia.html>, 2011.
- [6]. Prihantono, A. *Tren Pengguna Seluler*. Diakses tanggal 4 Februari 2015 dari <http://agvengeance.blogspot.com/2013/06/tren-pengguna-seluler.html>. 2013.
- [7]. Kurniawan, P. *Perencanaan Ulang Site Outdoor Coverage System Jaringan Radio GSM 900 Dan 2100 Di Kota Semarang*, Universitas Diponegoro Semarang, 2010.
- [8]. Pontus, Wijen, *Analisis Tekno Ekonomi Implementasi Teknologi Long Term Evolution di DKI Jakarta*. Jurnal Sarjana Institut Teknologi Bandung, 2012.
- [9]. Pramono, C. *Pemodelan Kanal SUI Pada Sistem komunikasi WIMAX* (Skripsi S1, Institut Teknologi Bandung, 2007.