

# Analisis Jaringan LTE Pada Frekuensi 700 MHz Dan 1800 MHz Area Kabupaten Bekasi Dengan Pendekatan Tekno Ekonomi

Ketty Siti Salamah

*Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta*  
[kettysitisalamah@yahoo.com](mailto:kettysitisalamah@yahoo.com)

## **Abstrak**

Upaya peningkatan layanan yaitu dengan mengimplementasikan teknologi yang lebih handal dari segi kecepatan akses maupun kapasitas serta ekspansi jangkauan. Teknologi *Long Term Evolution* (LTE) dapat menjadi jawaban atas kebutuhan tersebut. Pemanfaatan spektrum *Digital Dividend* dan LTE memungkinkan pembangunan broadband paling efisien, khususnya untuk menjangkau wilayah - wilayah yang sulit dijangkau. Implementasi LTE di pita frekuensi *Digital Dividend* menyediakan solusi paling ideal untuk mempercepat ketersediaan akses broadband yang terjangkau secara universal kepada seluruh masyarakat dalam rangka memenuhi target cakupan dan kapasitas. Model analisa yang digunakan berdasarkan prinsip tekno-ekonomi dengan menggunakan metoda *capacity and coverage dimensioning* untuk menentukan perancangan teknologi LTE. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran site yang diperlukan untuk penerapan teknologi LTE pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz. Dan metoda CBA untuk menganalisa secara ekonomi dan mengukur kelayakan biaya yang dikeluarkan untuk implementasi LTE tersebut. Dua skenario yang digunakan dan dibedakan dengan frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz dan bandwidth 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz dan 20 MHz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minimal bandwidth yang diperlukan agar implementasi LTE layak digunakan adalah 15 MHz.

**Keywords:** LTE, *Digital Dividend*, tekno-ekonomi, *capacity and coverage dimensioning*, CBA.

Received May 2016

Accepted for Publication June 2016

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kebutuhan akan layanan broadband di Indonesia semakin meningkat dan menuntut penyelenggara yaitu operator untuk menjaga kualitas layanan dengan

cara menambah bandwidth atau menambah jumlah *base transceiver station* (BTS), pembangunan BTS tentu tidak menelan biaya yang sedikit. Agar tidak perlu banyak dikeluarkan biaya untuk membangun site, maka perlu adanya penggunaan teknologi baru yang menawarkan efisiensi bandwidth, dan kecepatan akses data. Salah satu teknologi generasi ke-4 (4G) yang menawarkan efisiensi dan akses data berkecepatan tinggi adalah teknologi *Long term Evolution* (LTE).

Indonesia sendiri sudah menerapkan LTE pada frekuensi 1800 MHz di tahun 2015 oleh Kemkominfo, penyedia layanan telekomunikasi mulai melakukan uji jaringan. Peresmian ini dilakukan secara serentak bersama lima operator seluler, yakni Telkomsel, Indosat, XL Axiata, Tri, dan Smartfren. Namun apakah frekuensi tersebut memberikan keuntungan bagi operator atau tidak. Oleh karena itu perlu dilakukan pertimbangan untuk penggunaan frekuensi lain yaitu 700 MHz yang masih dipakai penyelenggara layanan penyiaran televisi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan yang diuraikan diatas, dapat dirumuskan permasalahan yang mendasari untuk dibahas dalam penulisan ini adalah berapa jumlah site untuk frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz berdasarkan *coverage planning* dan *capacity planning*, bagaimana potensi nilai ekonomi yang didapat untuk frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz.

## 1.3 Metodologi dan Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah memberikan perbandingan gambaran site yang diperlukan untuk penerapan teknologi LTE pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz dan juga memberikan perbandingan nilai ekonomi yang didapat pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz. Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi regulator dalam mengambil kebijakan terkait pemanfaatan frekuensi dari *digital dividend* yang digunakan untuk teknologi LTE.

Untuk dapat menjawab tujuan penelitian diatas, maka penulis melakukan proses yang diurutkan sebagai berikut:

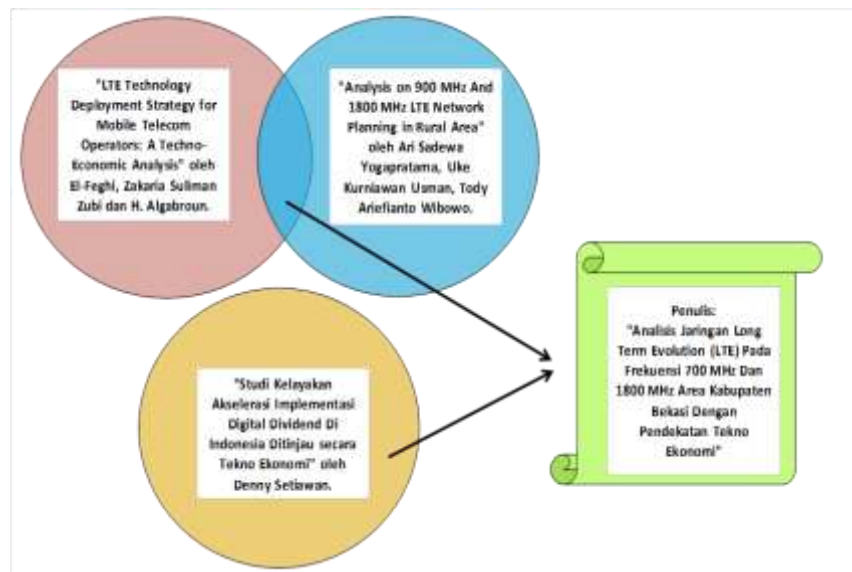
- 1) Studi literatur, studi literatur yang terkait dengan spektrum frekuensi radio, *digital dividend*, dan teori ekonomi yang diperoleh dari buku, *ebook*, paper, jurnal, tesis, disertasi maupun data *online* di internet yaitu Wikipedia.
- 2) Identifikasi permasalahan, permasalahan yang mendasari untuk dibahas dalam penulisan ini adalah berapa jumlah site untuk frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz berdasarkan *coverage planning* dan *capacity planning*, bagaimana potensi nilai ekonomi yang didapat untuk frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz.
- 3) Menentukan tujuan penelitian, tujuan pada penelitian memberikan perbandingan gambaran site yang diperlukan untuk penerapan teknologi LTE pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz dan juga memberikan perbandingan nilai ekonomi yang didapat pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz.
- 4) Mengumpulkan data dan menganalisa hasil penelitian.

5) Menyimpulkan hasil penelitian

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Kajian Literatur

Penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini antara lain sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Venn Pada Penelitian LTE

- 1) *LTE Technology Deployment Strategy for Mobile Telecom Operators: A Techno-Economic Analysis* oleh El-Feghi, Zakaria Suliman Zubi dan H. Algabroun [3].

Penelitian ini mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi migrasi dari nilai utama jaringan untuk LTE. Penelitian ini menganalisa teknologi teknik dimensioning pada operator telekomunikasi. Model analisa dilakukan dengan pendekatan Tekno ekonomi. Monopoli dan kompetitif pada skenario operator untuk penyebaran analisis LTE dan analisis komparatif dari kelayakan pada dua skenario ini yang dilakukan selama periode 7 tahun. Sebuah pangsa pasar kurang dari 10% ditemukan sulit untuk bermigrasi ke LTE dalam periode 7 tahun penyebaran karena persaingan dari pelaku pasar yang signifikan, khususnya ketika jumlah pelanggan terlalu rendah.

- 2) *Analysis on 900 MHz And 1800 MHz LTE Network Planning in Rural Area* oleh Ari Sadewa Yogapratama, Uke Kurniawan Usman, Tody Ariefianto Wibowo [4].

Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran site yang diperlukan untuk penerapan teknologi LTE pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz pada daerah rural. Implementasi LTE pada daerah rural membutuhkan

perencanaan yang cermat. Dalam proses perencanaan, operator akan mempertimbangkan masalah kapasitas karena jumlah pelanggan pada daerah rural tidak sebanyak daerah urban. Proses perencanaan jaringan radio melalui dua tahap yaitu yang pertama coverage planning dan yang kedua capacity planning (capacity dimensioning). Lokasi objek penelitian di Cisarua, Bandung. Cisarua dipilih karena memenuhi kriteria dari rural.

3) Studi Kelayakan Akselerasi Implementasi *Digital Dividend* Di Indonesia Ditinjau secara Tekno Ekonomi oleh Denny Setiawan [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model percepatan Digital Dividend LTE 700 MHz di Indonesia melalui model tekno ekonomi, terkait dengan pemenuhan target national broadband plan dibandingkan kebijakan saat ini yaitu hanya dapat diimplementasikan setelah jadwal Digital Switchover secara nasional pada akhir tahun 2017. Dan juga bertujuan untuk mendapatkan hasil verifikasi analisa cost benefit model tekno ekonomi percepatan Digital Dividend dari berbagai perspektif sudut pandang baik pemerintah, penyelenggara TV Siaran, Operator Multiplex maupun Operator Selular.

## 2.2 Long Term Evolution (LTE)

*Long Term Evolution* merupakan teknologi standard 3GPP, evolusi dari teknologi GSM dan UMTS. *Data rate* yang ditawarkan LTE lebih besar dibandingkan teknologi sebelumnya. Adapun kelebihan dari LTE adalah sebagai berikut:

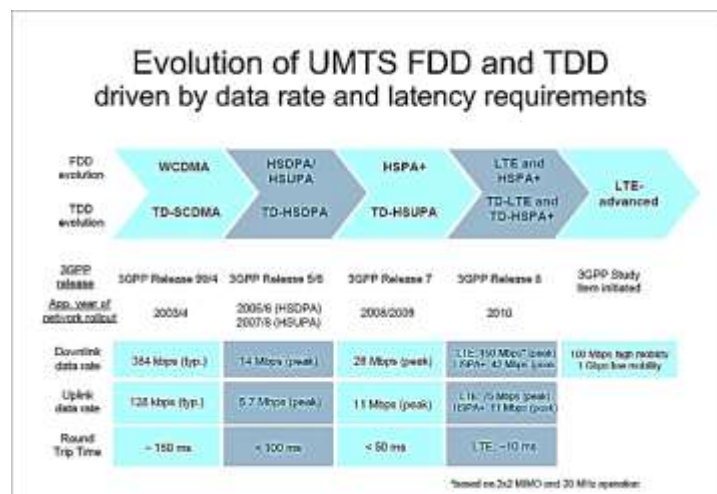
- a. *Latency/delay* lebih rendah
- b. *Data rate* lebih tinggi
- c. Meningkatkan kapasitas dan *coverage*
- d. *Cost-reduction*

Teknologi WCDMA yang mulai dibangun jaringannya tahun 2003/2004 mempunyai data rate mencapai 384 kbps untuk downlink dan 128 kbps untuk uplink dengan round trip time 150 ms. Pada tahun 2005/2006 muncul teknologi baru yaitu High Speed Downlink mencapai 14 Mbps dan uplink sebesar 5.7 Mbps. Kemudian tahun 2008/2009 3GPP merelease teknologi HSPA+ dengan data rate mencapai 28 Mbps untuk downlink dan 11 Mbps untuk uplink. Pada tahun 2010 muncul teknologi yang terbaru yaitu Long Term Evolution (LTE) dengan data rate mencapai 150 Mbps.

Koneksi super cepat inilah kelebihan dari LTE. Kecepatan yang tidak kalah dengan koneksi DSL. Dengan kemampuan ini, LTE tidak hanya menguntungkan bagi perangkat mobile, tetapi juga bagi home user. Berkat transmisi yang saat ini berkecepatan 100 Mbps (setara WLAN), home user tidak membutuhkan koneksi telepon lagi. Jangkauan LTE pun lebih jauh sehingga koneksi telepon akan hanya menjadi cadangan.

Keunggulan lain dari LTE adalah bila koneksi LTE terlalu lambat, sinyalnya dapat dialihkan ke jaringan teknologi lain, seperti GSM, UMTS, dan teknologi mobile lainnya. Agar LTE menjangkau seluruh wilayah, teknologi ini menggunakan rentang channel yang cukup lebar, mulai dari 1,4 MHz sampai 20 MHz. Jadi, teknologi ini dapat memenuhi regulasi yang telah ditentukan di setiap

Negara. Jaringan LTE komersial pertama sudah ditawarkan di Swedia.



Gambar 2. Evolusi UMTS FDD dan TDD berdasarkan Data Rate dan Latency

Para ahli menyimpulkan bahwa dengan bandwidth mulai dari 80 Mbps sampai 150 Mbps sudah cukup untuk sebagian besar pengguna Internet. Paling tidak untuk permulaan, karena rencananya kecepatan *download* teknologi LTE mencapai 300 Mbps. Untuk memperoleh kecepatan ini, diperlukan transmisi yang bebas interferensi. Untuk itu pengembang mengkombinasikannya dengan beberapa teknologi, seperti MIMO, QAM dan OFDM yang menggunakan beberapa antenna sekaligus untuk memancarkan dan menerima sinyal. Selain itu, teknologi ini pun memungkinkan *bitrate* yang lebih besar. Paket data dikirim ke *user* melalui *Internet Protocol* (IP), seperti pada koneksi DSL.

Kecepatan ini dapat dicapai dengan menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiplex* (SC-FDMA) pada *uplink*, yang digabungkan dengan penggunaan MIMO. Nantinya seluruh jaringan pada teknologi LTE akan berbasiskan *Internet Protocol* (IP) atau disebut juga *All IP Network* (AIPN). Jadi, teknologi LTE sangat mirip dengan WLAN. Dan LTE tidak kalah dengan *WiMax* yang sedang dikembangkan terutama di India dan Afrika dan hanya berfungsi sebagai akses internet saja.

### 2.3 Digital Dividend

Menurut (*Oxford Dictionaries*), *dividend* didefinisikan sebagai sejumlah uang yang dibayar secara berkala (biasanya per tahun) oleh perusahaan kepada para pemegang saham yang berasal dari keuntungan (atau cadangan) perusahaan [7]. *Dividend* bisa juga diartikan sebagai sebuah imbalan uang (pengembalian) untuk investasi yang diharapkan, kadang-kadang diperoleh pada akhir siklus bisnis. Sedangkan *digital dividend* didefinisikan sebagai jumlah spektrum yang tersedia oleh adanya transisi penyiaran televisi terrestrial dari analog ke digital.

*Digital dividend* terjadi apabila TV analog sudah bermigrasi semua ke TV digital. TV analog menggunakan bandwidth sebesar 328 MHz. Namun setelah proses digitalisasi, bandwidth TV digital menjadi lebih sempit yaitu sebesar 192 MHz. Dengan demikian ada lokasi bandwidth sebesar 112 MHz dan 24 MHz yang tersisa dari peninggalan TV analog tersebut. Bandwidth sebesar 112 MHz tersebut dialokasikan untuk *digital dividend*, sedangkan bandwidth 24 MHz untuk kanal reserve.

Kelebihan *digital dividend* tersebut dapat digunakan berbagai keperluan, antara lain:

- 1) Meningkatkan jumlah layanan penyiaran televisi digital terrestrial.
- 2) Meningkatkan cakupan wilayah (*Coverage*) transmisi televisi digital.
- 3) Digunakan untuk layanan televisi digital yang dapat diterima pada perangkat genggam (contoh: DVB-H).
- 4) Meningkatkan kualitas gambar dan suara, khususnya pada *High Definition TV*.
- 5) Digunakan untuk layanan non-penyiaran, seperti *Wimax*, UMTS, LTE dan sebagainya.

Keuntungan yang diperoleh oleh *customer* dengan adanya digitalisasi penyiaran adalah sebagai berikut:

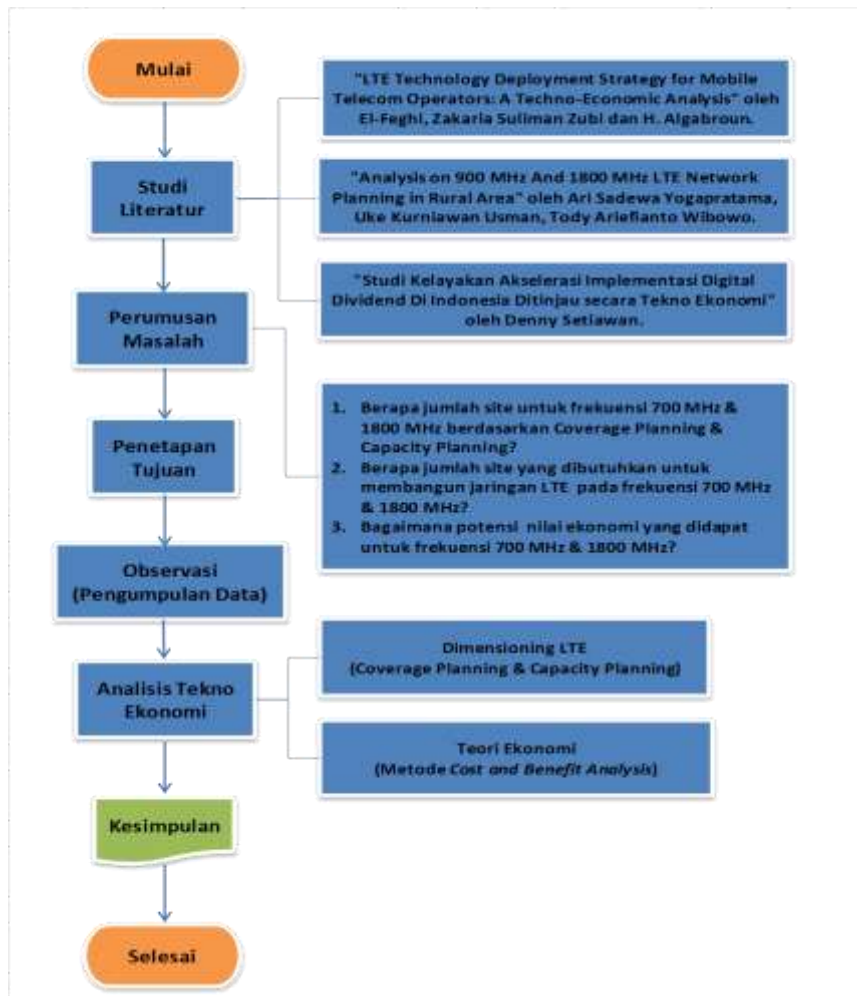
- 1) Pemilihan program TV lebih banyak
- 2) Kualitas gambar dan suara TV lebih bagus
- 3) *Flexible* digunakan baik untuk *portable* maupun *mobile*
- 4) Meningkatkan layanan informasi termasuk *electronic programming guide*
- 5) Meningkatkan inovasi dan kompetisi market

Keuntungan yang diperoleh industri dengan adanya digitalisasi penyiaran adalah sebagai berikut:

- 1) Harga kanal lebih murah bagi industri penyiaran
- 2) Adanya layanan baru (*Pay-TV*)
- 3) Jaringan *transmitter* baru
- 4) *Receiver devices* yang baru (*set top box*)
- 5) Munculnya teknologi baru

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

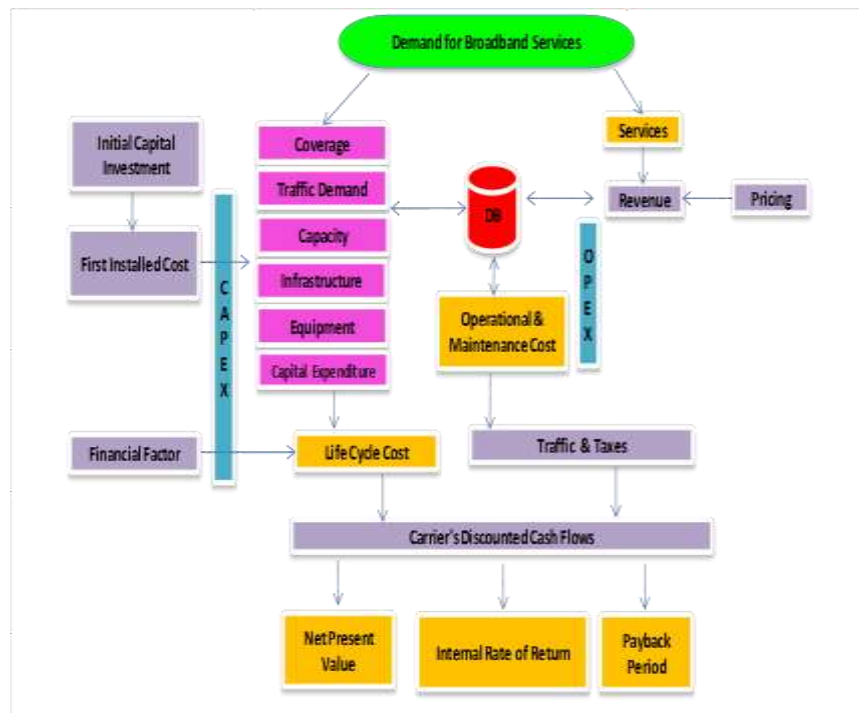
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *dimensioning LTE* untuk menghitung jumlah site yang dibutuhkan dan *cost and benefit analysis* untuk menghitung potensi nilai ekonomi pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz.



Gambar 3. Diagram Alir Proses Penelitian

### 3.1 Perencanaan Teknologi LTE

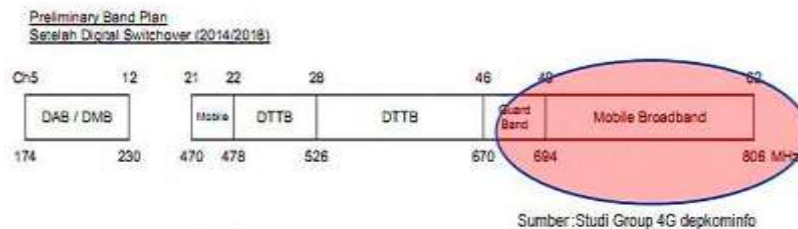
Dalam penelitian ini digunakan metode *capacity planning and coverage planning* untuk melakukan perencanaan *dimensioning* teknologi LTE. Dari metode tersebut akan diperoleh kapasitas dan jangkauan jaringan LTE yang kemudian dapat dijadikan acuan untuk memperoleh jumlah *base station* yang dibutuhkan untuk mampu menangani prediksi trafik dan luas geografis layanan. Berikut ini blok diagram yang digunakan :



Gambar 4 Perencanaan Teknologi LTE [9]

### 3.2 Frekuensi

Berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika nomor 22/PER/M/KOMINFO/11/2011 tentang Penyelenggaraan Penyiaran Televisi Digital Terrestrial Penerimaan Tetap Tidak Berbayar (*Free To Air*), pada tahun 2018 semua TV analog migrasi secara penuh ke TV digital. Alokasi Band UHF untuk penyiaran pada regional 3 ITU sebanyak 328 MHz yang terbagi dalam 40 kanal siaran, diperkecil alokasinya menjadi 192 MHz. Sisa dari kanal berupa 24 MHz untuk band tidak terpakai dan sisanya 112 MHz merupakan kanal sisa atau *digital dividend* yang alokasi frekuensi tersebut rencananya akan digunakan untuk teknologi LTE pada range 694 – 806 MHz atau 700 MHz.

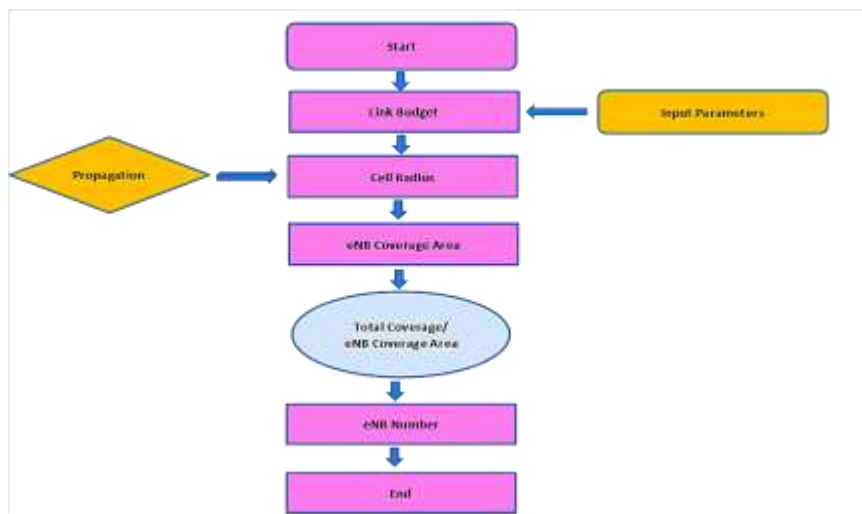


Gambar 5 Alokasi Band UHF



### 3.3 Coverage Planning

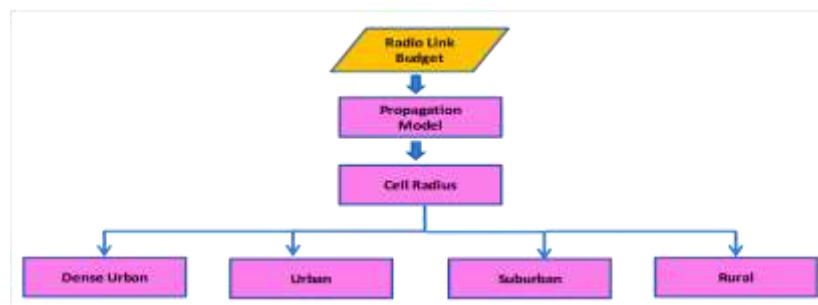
*Coverage Planning*, digunakan untuk mengetahui jumlah *base station* atau eNodeB yang dibutuhkan untuk mampu menangani trafik dan wilayah cakupan area yang ada. Perhitungan *coverage planning* menghitung area dimana sinyal dapat diterima oleh *user* atau *receiver*. Hal ini menunjukkan maksimum area yang dapat dicover oleh *Base Station*. *Coverage planning* termasuk *radio link budget* (RLB) dan analisis *coverage*. Diagram alir LTE coverage planning dapat dilihat pada gambar 6 [10]:



Gambar 6. Diagram Alir LTE Coverage Planning

#### 3.3.1 Radio Link Budget

*Radio link budget* adalah langkah pertama untuk menentukan *cell radius* (maksimum area yang dicover oleh *Base Station*). Perhitungan *link budget* digunakan untuk mengestimasi maksimum redaman sinyal antara *mobile station* (MS) dan *antenna base station*. *Maximum path loss allows* (MAPL) diestimasi berdasarkan model propagasi. Untuk menentukan maksimum area yang dicover oleh *Base Station*, diperlukan langkah-langkah yang dapat ditunjukkan di gambar 7. [10].



Gambar 7. Langkah-langkah menentukan Cell Radius

Perhitungan *radio link budget* membutuhkan parameter baik daya pancar, *gain antenna*, *signal-to-noise ratio*, dan lain-lain. Parameter yang digunakan untuk menghitung MAPL mengacu pada ECC *report* dan Huawei [11][12]. Adapun parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Parameter *Uplink Budget*

Parameter Uplink	Satuan	Value
Tx Power	dBm	23
Tx Antenna gain	dB	0
Body loss	dB	2
e.i.r.p.	dBm	21
Rx Noise Figure	dB	3
Receiver Noise = KTB x NF	dBm	
SINR	dB	-3.3
Fade Margin	dB	9
Interference margin	dB	3
Rx antena gain	dB	17
Feeder Loss	dB	2

Tabel 2. Parameter *Downlink Budget*

Parameter Downlink	Satuan	Value
Tx Power	dBm	46
Tx Antenna gain	dB	17
Cable loss	dB	2
e.i.r.p.	dBm	61
Rx Noise Figure	dB	7
Receiver Noise = KTB x NF	dBm	
SINR	dB	-2
Fade Margin	dB	9
Interference margin	dB	8
Rx antena gain	dB	0
Body Loss	dB	2

Perhitungan *link budget* pada arah *uplink* bertujuan untuk mendapat nilai *Maximum Allowable path Loss* (MAPL), yaitu nilai *path loss* maksimum yang diperbolehkan antara *transmitter* dan *receiver* untuk memperoleh *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) minimum yang dibutuhkan untuk mencapai kualitas yang mencukupi dengan turut memperhatikan *soft handover* dan *log-normal fading*. *Link budget* arah *uplink* merupakan perhitungan *link budget* dari *User Equipment* (UE) sebagai *transmitter* ke arah *Base Station* (BS) sebagai *receiver*. *Link budget* arah *downlink* merupakan perhitungan *link budget* dari *Base Station* (BS) sebagai *transmitter* ke arah *User Equipment* (UE) sebagai *receiver*.

### 3.3.2 Model Propagasi

#### 3.3.2.1 Model Okumura-Hatta

Model propagasi yang digunakan untuk menghitung *path loss* pada frekuensi 700 MHz dalam penelitian ini adalah model Okumura Hatta. Berikut ini merupakan persamaan-persamaan model Okumura Hatta untuk masing-masing karakteristik wilayah.

#### Urban, Sub Urban, Rural

$$L_u : 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log H_b + (44,9 - 6,55 \log H_b - 0 \quad H_b) / \log d$$

$$a(H_r) : (1,1 \log f - 0,7) H_r - (1,56 \log f - 0,8)$$

Total :  $Lu - a(Hr)$

Dense Urban

$Lu$  :  $69,55 + 26,16 \log f - 13,82 \log Hb + (44,9 - 6,55 \log Hb - 0 Hb)/\log d$

$a(Hr)$  :  $3,2 \log^2 (11,75 Hr) - 4,97$

Total :  $Lu - a(Hr)$

Keterangan:

$Lu$  : Redaman lintasan

$f$  : Frekuensi (MHz)

$Hb$  : Ketinggian antenna BTS

$Hr$  : Ketinggian *antenna mobile*

$a(Hr)$  : Faktor koreksi *antenna mobile*

Berdasarkan rumus diatas maka diperoleh  $d$  (jarak antara *Base Station* dan *Mobile Station*) yang menentukan besarnya *cell radius*, dengan diketahui *Maximum path loss* (MAPL) atau  $Lu$ .

3.3.2.2 Model Cost 231-Hatta

Model propagasi yang digunakan untuk menghitung *path loss* pada frekuensi 1800 MHz dalam penelitian ini adalah COST-231 karena sesuai dengan frekuensi tersebut. Model COST-231 – Hatta merupakan perkembangan dari model propagasi hatta yang digunakan pada *range* frekuensi antara 1500 MHz – 2000 MHz.

Adapun parameter untuk model ini adalah sebagai berikut:

- Frekuensi Carrier ( $f_c$ ) = 1500 MHz – 2000 MHz
- Tinggi antena *Base Station* ( $h_b$ ) = 30 – 200 m
- Tinggi antena *Mobile Station* ( $h_m$ ) = 1 – 10 m
- Jarak transmisi ( $d$ ) = 1-20 Km

Adapun persamaan dari model COST-231 – Hatta adalah sebagai berikut:

$$L_p \text{ (dB)} = A + B \log_{10} (d) + C$$

$$A = 46.3 + 33.9 \log_{10} (f_c) - 13.28 \log_{10} (h_b) - a (h_m)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10} (h_b)$$

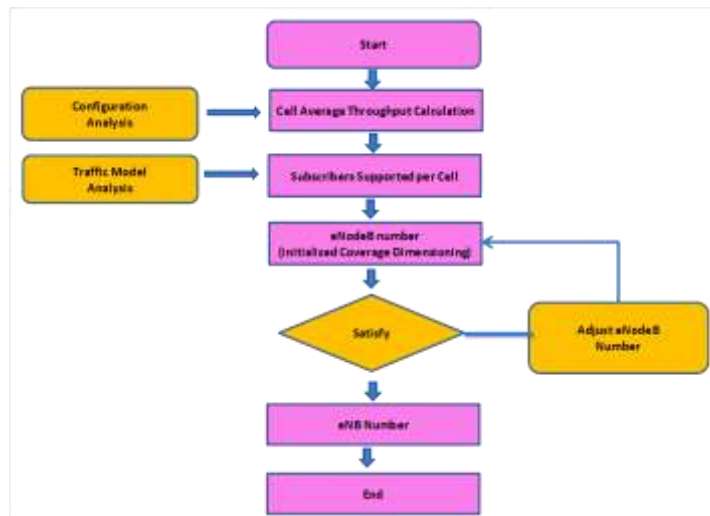
$$a (h_{MS}) = \begin{cases} 3.2 [\log(11.75h_{MS})]^2 - 4.97 & DU, U \\ [1.1 \log(f) - 0.7]h_{MS} - [1.56 \log(f) - 0.8] & SU \end{cases}$$

$$CM = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{For Rural and suburban} \\ 3 \text{ dB} & \text{For Dense Urban and Urban} \end{cases}$$

**3.4 Capacity Planning**

Tujuan dari LTE *capacity planning* adalah untuk memperoleh PS *throughput* yang didukung jaringan berdasarkan pada bandwidth yang tersedia dan kondisi

kanal tiap *user*. *Capacity planning* menawarkan kemampuan jaringan untuk menyediakan layanan pada *user* dengan kualitas yang bagus. Adapun tahapan dari *capacity dimensioning* adalah sebagai berikut di gambar 8 [10]:



Gambar 8. Diagram Alir LTE Capacity Dimensioning

Tahapan *Capacity Planning*:

- a. Perhitungan *cell average throughput* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Cell average Throughput} = \text{cell bandwidth} \times \text{spectral efficient}$$

- b. *Subscriber supported per cell*

Untuk menentukan jumlah *subscriber* yang bisa ditampung satu sel, terlebih dahulu menentukan model trafik yang digunakan. Setelah ditentukan model trafik, maka akan diperoleh *single user throughput* yang kemudian akan diperoleh jumlah *subscriber per cell*.

Untuk selanjutnya, langkah – langkah yang dilakukan sebagai berikut:

DL Cell Average Capacity	a. (Mbps)
Busy Hour DL Cell Loading	b. (%)
DL Cell Capacity in BH	c. a x b (Mbps)
Peak to Average Ratio	d. (%)
BH DL Throughput/Sub.	e. (Kbps)
Sector Number/site	f.
Subs supported in a site	g. [(cxf)/(1+d)]/e

c. Menentukan jumlah eNode B

Jumlah eNodeB diperoleh dari persamaan sebagai berikut:

$$eNode\ B\ Number = Total\ subscribers / jumlah\ subscriber\ persite$$

Parameter trafik mengacu pada LTE *Radio Network Planning*, Huawei, yang ditunjukkan pada tabel 3.3 dan 3.4 [12].

Tabel 3. Parameter *Traffic Service Model*

Traffic Parameters	UL				DL				UL	DL
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Throughput per Session (Kbit)	Throughput per Session (Kbit)
VoIP	26.90	80	0.4	1%	26.90	80	0.4	1%	869.5	869.5
Video Phone	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%	4421.3	4421.3
Video Conference	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%	113690.9	113690.9
Real Time Gaming	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%	11367.3	90952.7
Streaming Media	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%	5683.6	864016.4
IMS Signalling	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%	22.1	22.1
Web Browsing	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%	5684.5	22737.3
File Transfer	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%	85266.7	454751.5
Email	140.69	50	1	1%	750.34	15	1	1%	7105.6	11368.8
P2P file sharing	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%	303163.6	909503.0

Tabel 4. Model Trafik

User Behavior	Dense Urban		Urban		Suburban		Rural Area	
	Traffic Penetration Ratio	BHSA	Traffic Penetration Ratio	BHSA	Traffic Penetration Ratio	BHSA	Traffic Penetration Ratio	BHSA
VoIP	100.00%	1.4	100.00%	1.3	50.00%	1	50.00%	0.9
Video Phone	20.00%	0.2	20.00%	0.16	10.00%	0.1	5.00%	0.05
Video Conference	20.00%	0.2	15.00%	0.15	10.00%	0.1	5.00%	0.05
Real Time Gaming	30.00%	0.2	20.00%	0.2	10.00%	0.1	5.00%	0.1
Streaming Media	15.00%	0.2	15.00%	0.15	5.00%	0.1	5.00%	0.1
IMS Signalling	40.00%	5	30.00%	4	25.00%	3	20.00%	3
Web Browsing	100.00%	0.6	100.00%	0.4	40.00%	0.3	30.00%	0.2
File Transfer	20.00%	0.3	20.00%	0.2	20.00%	0.2	10.00%	0.2
Email	10.00%	0.4	10.00%	0.3	10.00%	0.2	5.00%	0.1
P2P file sharing	20.00%	0.2	20.00%	0.3	20.00%	0.2	5.00%	0.1

Besarnya *Peak to Average Ratio* untuk menghitung besarnya *single user throughput* untuk masing-masing tipe area pada tabel 5 [12]:

Tabel 5. *Peak to Average Ratio* masing-masing tipe area

Morphology	Dense Urban	Urban	Sub Urban	Rural Area
Peak to Average Ratio	40%	20%	10%	0%

### 3.5 Model Tekno Ekonomi

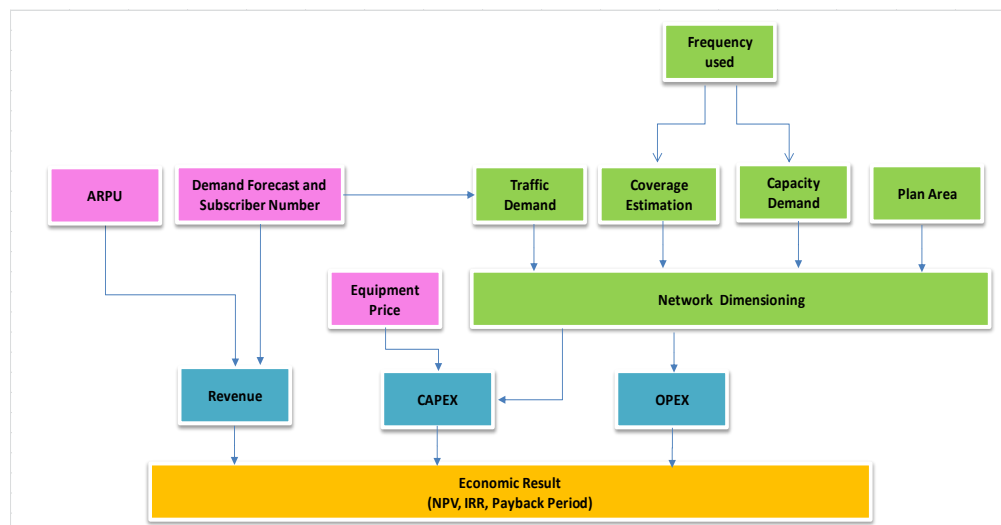
Model tekno ekonomi yang digunakan pada penelitian ini adalah *cost and benefit analysis*. Model ini dipilih karena cukup memberikan tuntunan umum dan menyeluruh untuk mengidentifikasi masukan, mempertimbangkan beberapa parameter masukan seperti :

- CAPEX
- OPEX
- *Revenue*

Sedangkan keluaran dari fungsi model ini antara lain :

- NPV
- IRR
- *Payback Period*

Model ini juga cukup komprehensif karena sudah memberikan semua parameter dasar perhitungan NPV, dan sudah memenuhi syarat cukup jenis parameter yang digunakan dalam analisa tekno ekonomi karena sudah memasukkan unsur ekonomi dan teknik.



Gambar 9. Model Tekno Ekonomi

## 4. ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

### 4.1 LTE Network Planning

LTE *Network Planning* meliputi *coverage planning* maupun *capacity dimensioning*. Penelitian ini menganalisis kebutuhan eNodeB pada bandwidth 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz dan 20 MHz.

## 4.2 LTE Coverage Planning

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3, untuk perhitungan *link budget coverage planning* mengacu pada *ECC report* dan Huawei.

Tabel 6. MAPL untuk arah *uplink*

Frekuensi	Bandwidth			
	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
700 MHz	159.8	156.78	155.02	153.77
1800 MHz	161.3	158.28	156.52	155.27

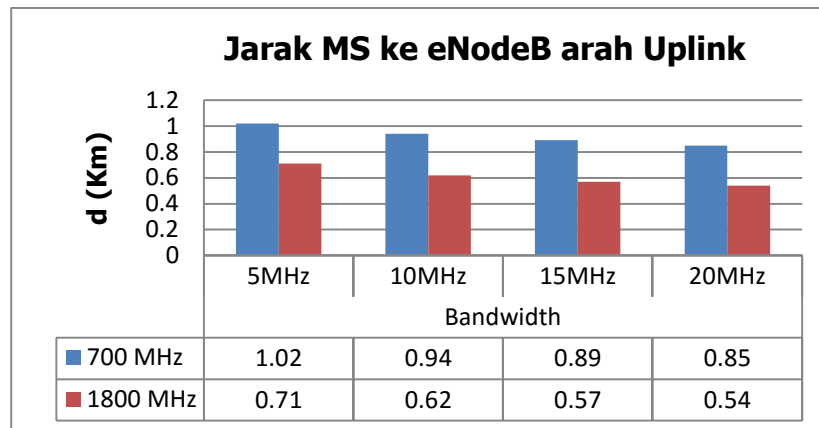
Tabel 7. MAPL untuk arah *downlink*

Frekuensi	Bandwidth			
	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz
700 MHz	172.5	169.48	167.72	166.47
1800 MHz	174	170.98	169.22	167.97

Berdasarkan tabel 6 dan 7 terlihat bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan, semakin besar MAPL nya. Hal ini disebabkan *gain* antena untuk frekuensi 1800 MHz lebih besar jika dibanding dengan *gain* antena yang digunakan untuk frekuensi 700 MHz. Besarnya MAPL juga dipengaruhi oleh besarnya bandwidth yang digunakan. Semakin besar bandwidth yang digunakan, semakin kecil MAPL nya. Hal ini disebabkan oleh besarnya *receiver noise* berbeda tergantung pada bandwidth yang digunakan.

### 4.2.1 Perbandingan Jarak Antara eNodeB ke *Mobile Station* (MS) pada arah *Uplink* dan *Downlink*

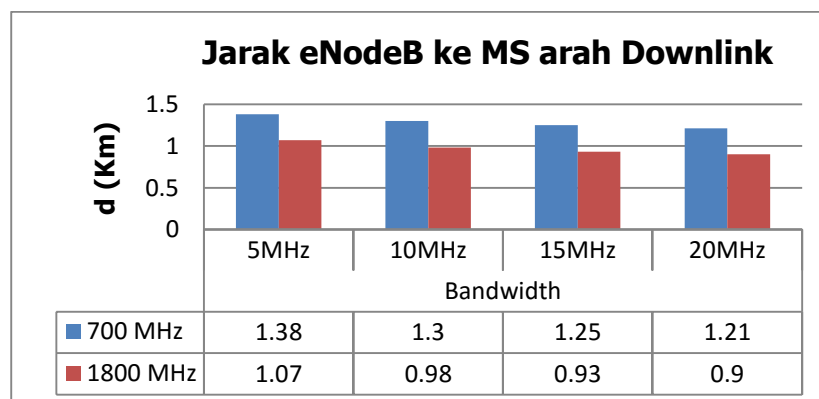
Setelah diperoleh *Maximum Allowed Path Loss*, kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh besarnya jarak antara eNodeB terhadap *Mobile Station* (MS). Model propagasi yang digunakan untuk *link budget* menggunakan Okumura Hata dan Cost-231. Adapun jarak antara MS terhadap eNodeB pada arah *uplink* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Jarak MS ke eNodeB arah Uplink

Gambar 10 diatas menunjukkan semakin besar frekuensi yang digunakan, semakin kecil jangkauan sinyal dari MS ke eNodeB. Demikian pula untuk bandwidth yang digunakan, semakin besar bandwidth yang digunakan, semakin kecil jarak antara MS ke eNodeB.

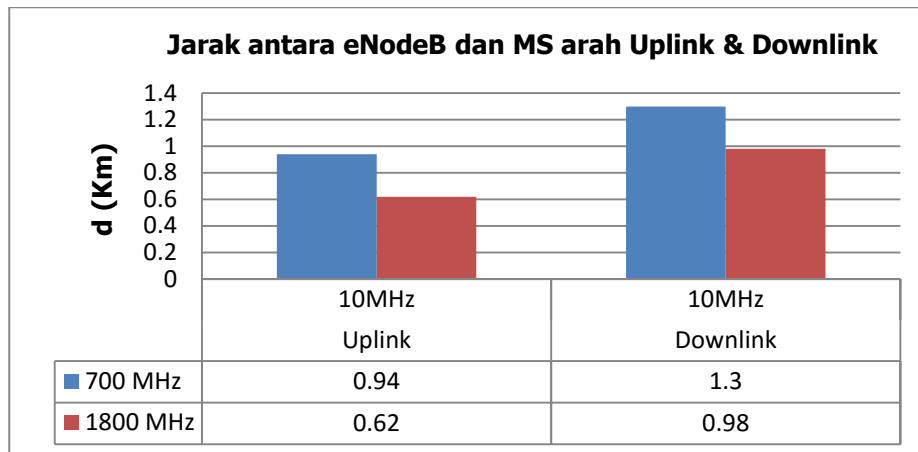
Adapun besarnya jarak antara eNodeB terhadap MS pada arah *downlink* dapat dilihat pada Gambar 11. Dari Gambar 11 terlihat bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan semakin kecil jarak antara eNodeB terhadap MS. Semakin besar bandwidth yang digunakan, semakin kecil jangkauan dari eNodeB terhadap MS.



Gambar 11. Jarak eNodeB ke MS arah Downlink

Perbandingan jarak eNodeB terhadap *Mobile Station* (MS) pada arah *uplink* dan *downlink* pada bandwidth 10 MHz dapat dilihat pada gambar 12. Pada gambar 12 menunjukkan bahwa jarak eNodeB pada arah *downlink* lebih besar dibanding dengan *uplink*. Hal ini disebabkan karena daya pancar eNodeB pada arah *downlink* lebih besar dibanding daya pancar *Mobile Station* pada arah *uplink*.



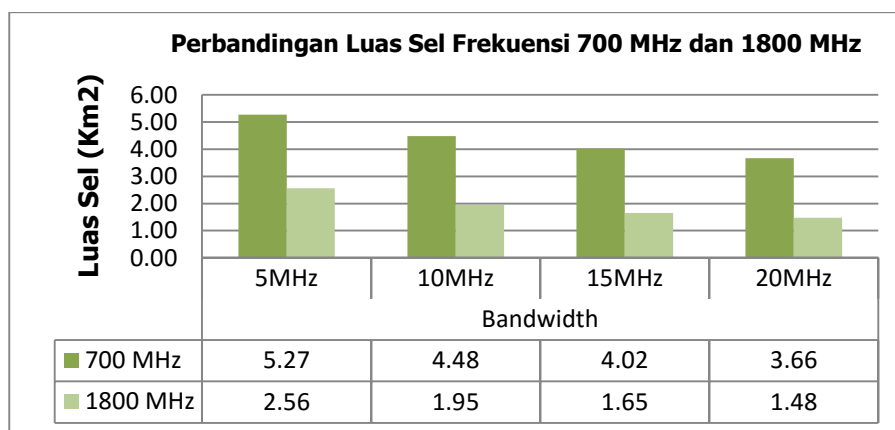


Gambar 12. Perbandingan Jarak antara eNodeB dan MS pada arah Uplink dan Downlink

#### 4.2.2 Perbandingan Jumlah eNodeB pada Frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz

Berdasarkan hasil perhitungan jarak antara eNodeB dan *Mobile Station* pada arah *uplink* dan *downlink*, diperoleh luas site yang kemudian akan memperoleh jumlah eNodeB.

Perhitungan luas sel menggunakan jarak MS ke eNodeB pada arah *uplink* karena dalam perencanaan menggunakan jarak yang paling kecil untuk mengantisipasi kondisi *worst case*. Hasil perhitungan luas sel berdasarkan persamaan diatas dapat dilihat pada Gambar 13.

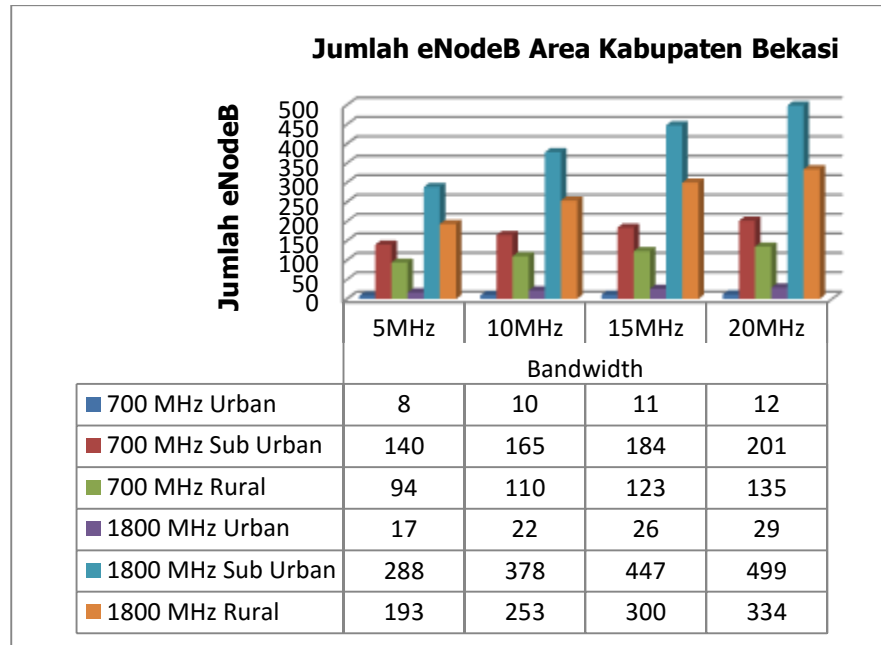


Gambar 13. Perbandingan Luas Sel Frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz

Gambar 13 menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan, semakin kecil luas sel. Selain itu pula, semakin besar bandwidth yang digunakan, luas sel semakin kecil. Hal ini disebabkan *thermal noise* dipengaruhi oleh besarnya bandwidth yang digunakan. Semakin besar bandwidth yang digunakan, semakin besar *thermal noise* nya.

Setelah diperoleh luas sel, maka dapat diperoleh jumlah eNodeB yang diperlukan. Jumlah eNodeB diperoleh dari persamaan sebagai berikut:

$$\text{Jumlah eNodeB} = \text{Luas Area} / \text{Luas Sel}$$



Gambar 14. Perbandingan Jumlah eNodeB yang dibutuhkan untuk LTE area Kabupaten Bekasi

Jumlah eNodeB yang diperlukan untuk teknologi LTE di Kabupaten Bekasi pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz dapat dilihat pada Gambar 14. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan, semakin besar pula jumlah eNodeB yang diperlukan. Area Kabupaten Bekasi merupakan area dengan luas area Sub Urban sebesar 58% dari total luas area. Dengan demikian daerah Sub Urban memerlukan jumlah site yang lebih besar dibanding dengan daerah Rural.

### 4.3 LTE Capacity Planning

*Capacity planning* dilakukan untuk setiap karakteristik wilayah dan bandwidth yang berbeda-beda. Karakteristik wilayah meliputi wilayah *urban*, *sub urban*, dan *rural*. Sedangkan bandwidth yang digunakan adalah 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz dan 20 MHz. Untuk perhitungan dan parameter trafik mengacu pada *LTE Radio Network Planning*, Huawei yang sudah dijelaskan pada bab 3. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, maka diperoleh *single user throughput* untuk masing-masing tipe ditunjukkan pada tabel 8:

Tabel 8 *Single User Throughput* untuk masing-masing tipe area

	Urban		Sub Urban		Rural	
Single User Throughput in Busy Hour (IP) (Kbps)	UL (Kbit)	DL (Kbit)	UL (Kbit)	DL (Kbit)	UL (Kbit)	DL (Kbit)
	9.509	36.377	5.542	19.674	1.217	5.705

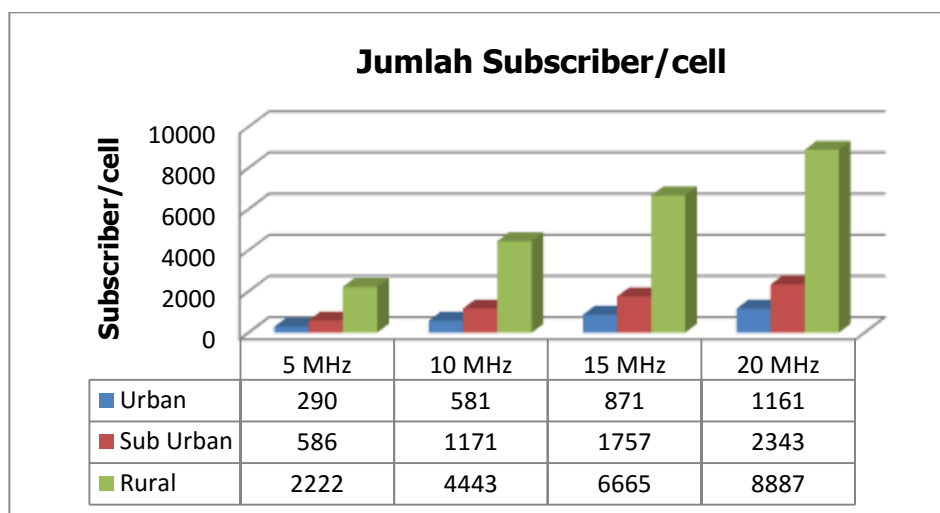
Asumsi perhitungan *downlink cell capacity* adalah sebagai berikut:

- Jumlah sektor per site = 3
- Spectral efficiency* = 1.69 bps/Hz/cell
- Downlink cell average capacity* dapat dilihat pada tabel 9:

Tabel 9. *Downlink cell average capacity* (Mbps)

Bandwidth	Urban	Sub Urban	Rural
5 MHz	8.45	8.45	8.45
10 MHz	16.9	16.9	16.9
15 MHz	25.35	25.35	25.35
20 MHz	33.8	33.8	33.8

Berdasarkan hasil perhitungan *capacity planning* diperoleh jumlah user per cell yang ditunjukkan pada gambar 15. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar bandwidth yang digunakan, semakin besar pula kapasitas *user* dalam satu sel. Kapasitas *user* per sel pada daerah Rural lebih besar dibanding dengan Sub Urban karena *throughput per user* dan *Peak to Average Ratio* untuk daerah Rural lebih kecil dibanding dengan daerah Sub Urban.



Gambar 15. Jumlah Subscriber dalam satu cell

Setelah diperoleh jumlah *subscriber* dalam satu *cell*, maka diperoleh jumlah eNodeB yang diperlukan pada tahun pertama untuk membangun jaringan *Long Term Evolution* yang ditunjukkan Tabel 10.

Jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun LTE pada area Kabupaten Bekasi berdasarkan *capacity planning* dipengaruhi oleh besarnya bandwidth yang digunakan. Semakin besar bandwidth yang digunakan, semakin sedikit jumlah eNodeB yang dibutuhkan.

Tabel 10. Jumlah eNodeB berdasarkan *Capacity Planning*

Bandwidth	Urban	Sub Urban	Rural
5 MHz	61	30	8
10 MHz	31	15	4
15 MHz	20	10	3
20 MHz	15	8	2

#### 4.4 Jumlah EnodeB Final

Jumlah keseluruhan eNodeB yang dibutuhkan pada penelitian dengan memilih jumlah eNodeB terbesar dari hasil *coverage planning* maupun *capacity planning*.

Tabel 11 Jumlah BTS Pada Frekuensi 700 MHz

Bandwidth	Area	Frekuensi 700	
		BTS	Final BTS
15 MHz	Urban	363	670
	Sub Urban	184	
	Rural	123	

Tabel 12 Jumlah BTS Pada Frekuensi 1800 MHz

Bandwidth	Area	Frekuensi 1800	
		BTS	Final BTS
15 MHz	Urban	363	1110
	Sub Urban	447	
	Rural	300	

#### 4.5 Cost and Benefit Analysis Penyelenggaraan LTE

*Cost and benefit analysis* pada bagian ini untuk menghitung seberapa besar potensi nilai ekonomi yang didapat pada frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz. Analisis biaya dan manfaat ini menggunakan dua skenario, yaitu:

- Skenario I, menggunakan bandwidth 15 MHz dengan frekuensi 700 MHz
- Skenario II, menggunakan bandwidth 15 MHz dengan frekuensi 1800 MHz

##### 4.5.1 Analisis Perhitungan Pendapatan (Komponen Manfaat) Penyelenggaraan *Broadband Wireless* (LTE)

Komponen manfaat yang didapat dari penyelenggaraan *broadband wireless* ini adalah pendapatan yang didapat dari jumlah pengguna yang menggunakan layanan *broadband wireless*, berdasarkan data populasi potensial yaitu data penduduk usia produktif (15-44 tahun) daerah Kabupaten Bekasi dan dengan *market share* sebesar 54% [16] yang ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Prediksi Pengguna *Broadband Wireless*

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Jumlah Penduduk	887,814	923,504	960,629	999,246	1,039,416	1,081,200	1,124,665	1,169,876
Penetration Rate [17]	3.70%	7.20%	11.90%	18.00%	25.50%	34.70%	45.70%	50.00%
Prediksi Pengguna LTE	17,739	35,906	61,730	97,127	143,128	202,595	277,545	315,867

Prediksi tersebut digunakan sebagai potensi pengguna *broadband wireless* (LTE) yang akan dihitung potensinya sampai tahun 2021. Pendapatan diperoleh dari *Average Revenue Per User* (ARPU) [5]. Pendapatan yang diperoleh per tahun ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Prediksi Potensi Pendapatan *Broadband Wireless*

2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
43,087,008,353	74,076,022,564	116,552,085,385	171,753,095,558	243,114,418,783	333,053,722,240	379,039,914,523

##### 4.5.2 Analisis Perhitungan Biaya Investasi Penyelenggaraan *Broadband Wireless* (LTE)

Perhitungan biaya investasi (CAPEX) penyelenggaraan *broadband wireless* dibatasi adalah biaya investasi yang diperlukan untuk perangkat *base station* untuk penyelenggaraan *broadband wireless*, seperti yang ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 15 Asumsi Biaya Investasi Penyelenggaraan *Broadband Wireless*

NO	DESKRIPSI	JUMLAH	NILAI (Rp)
1	Perangkat <i>Base Station</i>	1 per BS	460,842,701
2	Instalasi	1 per BS	112,107,840
3	NMS	1 per BS	9,100,260
4	Sarana Penunjang	1 per BS	181,900,000
	<b>TOTAL</b>		<b>763,950,801</b>

Pada bandwidth 15 MHz dengan frekuensi 700 dibutuhkan sebanyak 670 BTS dengan harga satuan BTS adalah sebesar Rp. 763.950.801 dan biaya upgrade BTS Rp. 303.108.100 sehingga biaya investasi adalah sebesar Rp. 311.380.461.735,-. Sedangkan pada bandwidth 15 MHz dengan frekuensi 1800 MHz dibutuhkan sebanyak 1110 BTS dengan harga satuan BTS adalah sebesar Rp. 763.950.801 dan biaya upgrade BTS Rp. 303.108.100 sehingga biaya investasi adalah sebesar Rp. 647.518.814.175,-.

#### 4.5.3 Analisis Perhitungan Biaya Operasional dan Pemeliharaan Penyelenggaraan *Broadband Wireless* (LTE)

Adapun untuk biaya operasional dan pemeliharaan (OPEX) yang harus dikeluarkan dalam penyelenggaraan *broadband wireless* (LTE) ini yang dari masing - masing jumlah BTS pada setiap Skenario dengan data biaya OPEX untuk 1 site pada tahun 2021 adalah seperti pada Tabel 16, 17 berikut.

Tabel 16 Biaya OPEX BTS pada Skenario I

NO	DESKRIPSI	JUMLAH	NILAI (Rp)
1	CME	670 Site	26,800,000,000
2	I & C	670 Site	16,080,000,000
3	Maintenance	3 % x Rp. 311.380.461.735	9,341,413,852
4	BHP Frekuensi Kabupaten Bekasi		567,744,009
	<b>TOTAL</b>		<b>52,789,157,861</b>

Tabel 17 Biaya OPEX BTS pada Skenario II

NO	DESKRIPSI	JUMLAH	NILAI (Rp)
1	CME	1110 Site	44,400,000,000
2	I & C	1110 Site	26,640,000,000
3	Maintenance	3 % x Rp. 647.518.814.175	19,425,564,425
4	BHP Frekuensi Kabupaten Bekasi		567,744,009
	<b>TOTAL</b>		<b>91,033,308,434</b>

#### 4.5.4 Net Present Value (NPV) Penyelenggaraan *Broadband Wireless* (LTE)

Perhitungan NPV yang didapat dari komponen biaya dan komponen manfaat pada penyelenggaraan *broadband wireless* dari tahun 2014 sampai dengan tahun 2021 (selama 8 tahun) adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Nilai Investasi dan Kas Bersih Skenario I

	<b>Investasi (Rp)</b>	<b>Kas Bersih (Rp)</b>
Tahun 1	311,380,461,735	
Tahun 2		17,082,815,780
Tahun 3		45,879,032,701
Tahun 4		85,358,272,559
Tahun 5		136,260,723,979
Tahun 6		201,624,669,046
Tahun 7		284,088,979,436
Tahun 8		326,250,756,662

Tabel 19 Nilai Investasi dan Kas Bersih Skenario II

	<b>Investasi (Rp)</b>	<b>Kas Bersih (Rp)</b>
Tahun 1	647,518,814,175	
Tahun 2		- 19,958,535,343
Tahun 3		8,422,923,147
Tahun 4		47,335,326,482
Tahun 5		98,016,573,406
Tahun 6		163,380,518,473
Tahun 7		245,844,828,863
Tahun 8		288,006,606,089

Data pada Tabel 19 tersebut diolah menggunakan rumus yang sudah dijelaskan pada bab 3 dan dengan nilai tingkat suku bunga (data Bank BRI Bulan Februari 2016) sebesar = 9% [18], maka didapatkan nilai NPV sebagai berikut:

Tabel 20 Nilai *Net Present Value*

	<b>NPV (Rp)</b>
Skenario I	IDR 384,255,603,686
Skenario II	-IDR 142,426,180,256

Berdasarkan data diatas, yang paling layak untuk diimplementasikan dalam penyelenggaraan LTE yaitu Skenario I pada bandwidth 15 MHz dengan frekuensi

700 MHz. Karena dapat memberikan nilai positif, artinya manfaat yang diterima proyek lebih besar dari semua biaya total yang dikeluarkan dalam 8 tahun.

## 5. KESIMPULAN & SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Hasil *coverage planning* menunjukkan bahwa jumlah eNodeB yang dibutuhkan untuk pembangunan LTE pada area Kabupaten Bekasi dengan menggunakan frekuensi 700 MHz pada bandwidth 15 MHz sebanyak 317 buah, sedangkan berdasarkan *capacity planning* sebanyak 670 buah. Sedangkan pada frekuensi 1800 MHz dibutuhkan sebanyak 773 buah berdasarkan *coverage planning* dan 1110 buah berdasarkan *capacity planning*. Dari hasil *Cost and Benefit Analysis*, diperoleh nilai NPV pada Skenario I sebesar Rp. 384.255.603.686, Skenario II sebesar Rp -142.426.180.256, sehingga dapat disimpulkan bahwa investasi yang paling layak yaitu Skenario I. Karena manfaat yang diterima proyek lebih besar dari semua biaya total yang dikeluarkan dalam 8 tahun.

### 5.2 Saran

Diperlukan pembahasan mengenai arsitektur dan jaringan di sisi transmisi, core network, serta kualitas layanan. Mengingat pada penelitian ini hanya dibahas pada sisi perangkat BTS saja.

## REFERENCES

- [1] Kementerian Kominfo. (2012). Studi Optimalisasi Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio oleh Penyelenggara Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK). Pusat Penelitian dan Pengembangan SDPPI. Badan Litbang SDPPI, Kementerian Kominfo.
- [2] 4G America. (2011). The Benefits of Using LTE in Digital Dividend Spectrum, diakses dari: [http://www.4gamericas.org/documents/Benefits%20of%20LTE%20in%20Digital%20Dividend\\_11.08.11.pdf](http://www.4gamericas.org/documents/Benefits%20of%20LTE%20in%20Digital%20Dividend_11.08.11.pdf)
- [3] Feghi, E., Zubi, Z.S., Jamil, A., & Algabroun, H. (2014). LTE Technology Deployment Strategy for Mobile Telecom Operators: A Techno-Economic Analysis.
- [4] Yogapratama, A.S., Usman, U.K., & Wibowo, T.A. (2015). Analysis on 900 MHz And 1800 MHz LTE Network Planning in Rural Area. International Conference on Information and Communication Technology, (pp. 135-139). Telkom, Indonesia: Telkom University.
- [5] Setiawan, D. (2013). Studi Kelayakan Akselerasi Implementasi Digital Dividend Di Indonesia. Disertasi Doktor, Universitas Indonesia.
- [6] Ariyanti, S. (2013). Studi Pemanfaatan Digital Dividend untuk Layanan Long Term Evolution. Buletin Pos Dan Telekomunikasi, Puslitbang SDPPI, 11,281.
- [7] Oxford Dictionaries. (2013). *Definition of dividend in English*, diakses dari: <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/dividend>



- [8] ITU. (2012). Digital Dividend: Insight for spectrum decisions. Telecommunication Development Sector, diakses dari: [http://www.itu.int/ITU-D/tech/digital\\_broadcasting/Reports/DigitalDividend.pdf](http://www.itu.int/ITU-D/tech/digital_broadcasting/Reports/DigitalDividend.pdf)
- [9] Smura, T. (2012). Techno-economic modelling of wireless network and industry architectures. Doctoral Dissertations, Aalto University.
- [10] Asp, I. T. U., Training, C. O. E., & Broadband, W. (2013). Long Term Evolution : Radio Network Planning ITU ASP COE Training on, 1-35.
- [11] ECC Report 199. (2013). User requirements and spectrum needs for future European broadband PPDR systems (Wide Area Networks).
- [12] Huawei Technologies co., LTD. (2010). LTE Radio Network Planning Introduction. Huawei Technologies co., LTD.
- [13] Badan Pusat Statistik Indonesia. (2015). Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin Kabupaten Bekasi Tahun 2014, diakses dari: <http://bekasikab.bps.go.id/LinkTableDinamis/view/id/9>
- [14] Mirza, M.F. (2010). Optimasi Pemanfaatan Spektrum Di Pita UHF Untuk Layanan Siaran TV Digital Terrestrial dan Mobile Broadband di Wilayah Jabodetabek. Tesis. Magister Manajemen Telekomunikasi, Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- [15] Riyansyah, D. (2010). Analisa Kelayakan Migrasi BTS 3G Berbasis WCDMA Menuju Jaringan LTE di DKI Jakarta (Studi Kasus: PT. Telkomsel). Tesis. Magister Manajemen Telekomunikasi, Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- [16] Telkomsel (2016). Annual Report, diakses dari: <http://www.telkomsel.com/about/investor-relations/25-Annual-Report.html>
- [17] Analysis Mason. (2012). The Emerging Asia-Pacific Telecoms Market and Forecast, 2011 – 2016, diakses dari: <http://www.analysismason.com/Research/Content/Reports/EMAP-forecastJul2012-RDRP0/Sample-pages>
- [18] Daftar Suku Bunga Bank Terbaru: Februari 2016, diakses dari: <http://www.bri.co.id/articles/61>
- [19] Setiawan, D. (2010). Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia. Ditjen Postel, Kementerian Kominfo.

