

# Analisis Tekno Ekonomi Kelayakan Migrasi Jaringan 2G/3G ke 4G LTE Pada Frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz di DKI Jakarta (Studi Kasus: PT.Indosat, Tbk)

Rangga Yudha Utama

*PT. Indosat, Jakarta*  
rangga.utama@indosatooredoo.com

## **Abstrak**

Tantangan penyediaan jaringan komunikasi nirkabel yang handal dengan kapasitas sistem yang tinggi tidak terlepas dari biaya investasi yang tinggi. Pemanfaatan resource spectrum secara efisien yang semaksimal mungkin merupakan salah satu solusi untuk mengatasi biaya investasi yang tinggi. Penelitian ini mem-fokuskan pada analisis tekno ekonomi implementasi secara *co-existence* antara jaringan 2G/3G *existing* dan 4G LTE sesuai dengan tingkat prosentase pertumbuhan pelanggan nirkabel layanan data (2015-2019) dengan membandingkan mana yang lebih ekonomis apakah menggunakan resource spektrum frekuensi di *900MHz* atau *1800MHz*.

Pada penelitian ini model analisa yang digunakan berdasarkan prinsip tekno-ekonomi dengan metoda *capacity estimation* dan *coverage planning* untuk menentukan perancangan teknologi 4G LTE dan metoda DCF untuk menganalisa secara ekonomi dalam mengukur kelayakan biaya yang dikeluarkan untuk implementasi 4G LTE tersebut dengan memanfaatkan resource spectrum frekuensi secara efisien pada operator seluler Indosat Ooredoo.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa implementasi migrasi jaringan 2G/3G ke 4G LTE pada frekuensi 1800MHz menggunakan bandwidth 10 MHz dari perhitungan ekonomi menghasilkan hasil yang lebih efisien dan layak untuk di implementasikan. Diperoleh diperoleh nilai NPV positif sebesar Rp107.749.194.676 dan IRR sebesar 31.07%, dengan nilai Pay Back Period 3 Tahun 6 Bulan. Dibandingkan dengan penggelaran 4G LTE pada frekuensi 900MHz dengan bandwidth 5MHz diperoleh nilai NPV positif sebesar Rp 61.075.272.890, namun IRR hanya sebesar 1,71% (dibawah suku bunga perbankan), dengan nilai Pay Back Period 4 Tahun 1 Bulan.

**Kata Kunci:** LTE, tekno-ekonomi, coverage planning, capacity estimation, DCF, 900MHz, 1800MHz, co-existence 2G/3G/4G.

## **Abstract**

The challenge of providing a reliable wireless communication network with high system capacity is inseparable from high investment cost. Utilization of resource spectrum efficiently as much as possible is one solution to overcome high investment costs. This study focuses on co-

existence techno-economic analysis of existing 2G / 3G networks and 4G LTE in accordance with percentage growth rate of wireless data service subscribers (2015-2019) by comparing which one is more economical whether to use frequency spectrum resources at 900MHz Or 1800MHz.

In this research, the analysis model used is based on techno-economic principle with capacity estimation and coverage planning method to determine the design of 4G LTE technology and DCF method to analyze economically in measuring the feasibility of expense for implementation of 4G LTE by utilizing resource frequency spectrum efficiently On Indosat Ooredoo cellular operator.

The results of the research show that the implementation of 2G / 3G network migration to 4G LTE at 1800MHz frequency using 10 MHz bandwidth from economic calculation yields more efficient and feasible result to be implemented. Obtained obtained a positive NPV value of Rp107.749.194.676 and IRR of 31.07%, with Payback Period 3 Years 6 Months. Compared with the deployment of 4G LTE on 900MHz frequency with 5MHz bandwidth obtained a positive NPV value of Rp 61,075,272,890, but IRR is only 1.71% (below the interest rate of banking), with the value of Pay Back Period 4 Year 1 Month.

**Keywords:** LTE, techno-economic, coverage planning, capacity estimation, DCF, 900MHz, 1800MHz, co-existence 2G / 3G / 4G.

Received May 2016

Accepted for Publication June 2016

DOI: 10.22441/incomtech.v7i1.1164

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi internet dan *wireless communication* telah mengubah pola komunikasi pengguna jasa telekomunikasi untuk selalu terhubung dan terlayani dimana saja, kapan saja dan aplikasi apa saja. Pola kebutuhan berkomunikasi tersebut dapat dipenuhi dengan sumber informasi yang tidak terbatas melalui internet dan juga mobilitas komunikasi dimana saja melalui teknologi komunikasi *wireless* yang disebut dengan istilah *mobile broadband*. Hal tersebut menjadi tantangan bagi operator untuk selalu dapat memenuhi harapan para pelanggan agar penyelenggaraan bisnis dapat terus berlangsung. Maka dari itu para operator telekomunikasi berusaha mengimplementasikan jaringan akses *broadband* yang lebih handal sehingga mampu memenuhi kenaikan permintaan dan kepuasan pelanggan.

LTE yang merupakan standar 3GPP dapat menjadi jawaban atas tantangan tersebut. LTE didesain sebagai teknologi 4G yang menyediakan *multi-megabit bandwidth*, penggunaan jaringan radio secara efisien, pengurangan latency dan peningkatan mobilitas dan kapabilitas yaitu mampu diimplementasikan dan *interoperability* pada jaringan 2G/3G existing, karena keunggulan teknologi LTE adalah dapat diimplementasikan secara bersama-sama pada jaringan 2G maupun 3G existing, sehingga implementasi teknologi LTE bersifat *low cost*.

Agar teknologi LTE diterapkan dengan frekuensi yang efisien, maka kemungkinan bisa diterapkan pada frekuensi yang telah digunakan saat ini yaitu frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz yang selama ini digunakan untuk teknologi GSM. Karena itu pemilihan penggunaan resource spektrum frekuensi di 900MHz atau 1800MHz yang digunakan bersama antara 2G, 3G dan 4G LTE menjadi suatu solusi penggelaran jaringan 4G LTE. Alokasi pita lebar yang sangat fleksibel, mulai dari 1.4, 3, 5, 10, 15 hingga 20 MHz, menjanjikan fleksibilitas yang tinggi dalam penggunaan spektrum.

Dalam implementasi di lapangan konsep teknik co-existence antara perangkat 2G, 3G dan 4G LTE dalam satu rack yang terintegrasi diharapkan menjadi salah satu solusi dalam melakukan ekspansi jaringan nirkabel eksisting 2G/3G. Operator telekomunikasi existing tidak perlu memiliki beberapa rack BTS untuk setiap standar seluler (2G, 3G, maupun 4G LTE). Sehingga operator telekomunikasi tidak memerlukan power dan transmisi tambahan, serta dapat menghemat space untuk penempatan kabinet baru serta dapat lebih memudahkan dalam melakukan operation dan maintenance perangkat dalam menjaga performance jaringan. Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan co-existence perangkat 4G LTE bagi operator 2G/3G existing, Antara lain: *Cost (CAPEX/OPEX) saving, Foot Print/Space Cabinet Saving, Power Saving, Operation Maintenance, Convergence Network, dan Capacity Expansion.*

Perumusan masalah penelitian yaitu: Analisis tekno ekonomi implementasi secara co-existence antara jaringan 2G/3G existing dan 4G LTE dengan membandingkan mana yang lebih ekonomis apakah menggunakan resource spektrum frekuensi di 900MHz atau 1800MHz.

Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah membuat suatu perencanaan dan analisis implementasi teknologi jaringan 4G LTE dengan menggunakan *coverage planning* dan *capacity estimation*, berdasarkan estimasi jumlah pelanggan, luas wilayah DKI Jakarta, dan demand akan layanan *broadband*. Dilanjutkan dengan membuat perhitungan dan analisis implementasi teknologi jaringan 4G LTE dari segi aspek ekonomi dengan menggunakan metoda DCF yang dapat digunakan sebagai strategi untuk pengambilan keputusan implementasi manajemen perusahaan PT. Indosat, Tbk.

## 2. DASAR TEORI

Long Term Evolution (LTE) merupakan pengembangan standart teknologi 3GPP, dengan menggunakan skema multiple access OFDMA pada downlink dan SC-FDMA pada uplink, dengan orthogonalitas antara user sehingga mengurangi interferensi dan meningkatkan kapasitas. LTE merepresentasikan standar teknologi wireless masa depan kelanjutan dari teknologi UMTS yang berevolusi dari arsitektur berbasis Circuit Switch (CS) dan Packet Switch (PS) menjadi arsitektur berbasis All-IP.

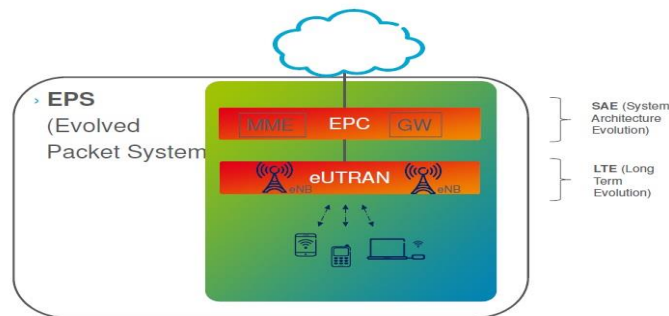
Beberapa karakteristik teknologi LTE sbb:

1. LTE adalah generasi teknologi telekomunikasi selular. Menurut standar, LTE memberikan kecepatan uplink hingga 50 megabit per detik (Mbps) dan kecepatan downlink hingga 100Mbps.

2. Round Trip Time (RTT) LTE hanya membutuhkan 5ms untuk satu arah antara UE dan eNodeB sehingga menghasilkan *latency* yg rendah.
3. Bandwidth fleksibel mendukung untuk: 20 MHz, 15 MHz, 10 MHz, 5 Mhz dan 1,4 MHz. Sehingga operator jaringan dapat memilih bandwidth yang berbeda dan memberikan layanan yang berbeda berdasarkan spektrum. Itu juga merupakan tujuan desain dari LTE yaitu untuk meningkatkan efisiensi spektrum pada jaringan, yang memungkinkan operator untuk menyediakan lebih banyak paket data pada suatu bandwidth.
4. Mendukung mode duplex *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD).
5. Memiliki arsitektur jaringan yang sederhana, hanya ada eNodeB pada *evolved UMTS terrestrial radio access* (E-UTRAN).

## 2.1 Arsitektur Jaringan LTE

LTE release 8 sangat terkait dengan evolusi arsitektur 3GPP yang disebut System Architecture Evolution (SAE) yang menghasilkan Evolution Packet System (EPS), EPS terdiri dari Evolved Packet Core (EPC) dan Evolution UTRAN (E-UTRAN). EPC dapat terhubung ke jaringan radio akses lain nya baik itu menggunakan standar 3GPP ataupun bukan 3GPP. Konfigurasi EPS dapat dilihat pada gambar 1.

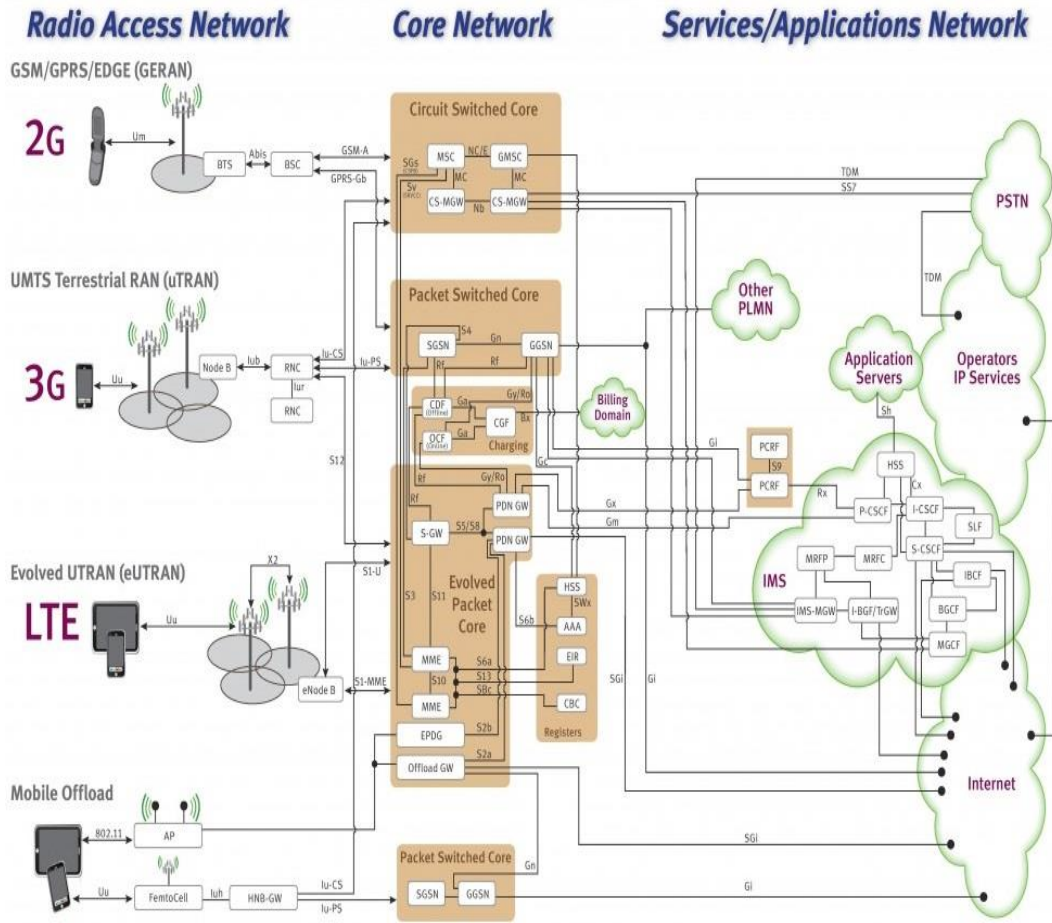


Gambar 1 Evolved Packet System (EPS)

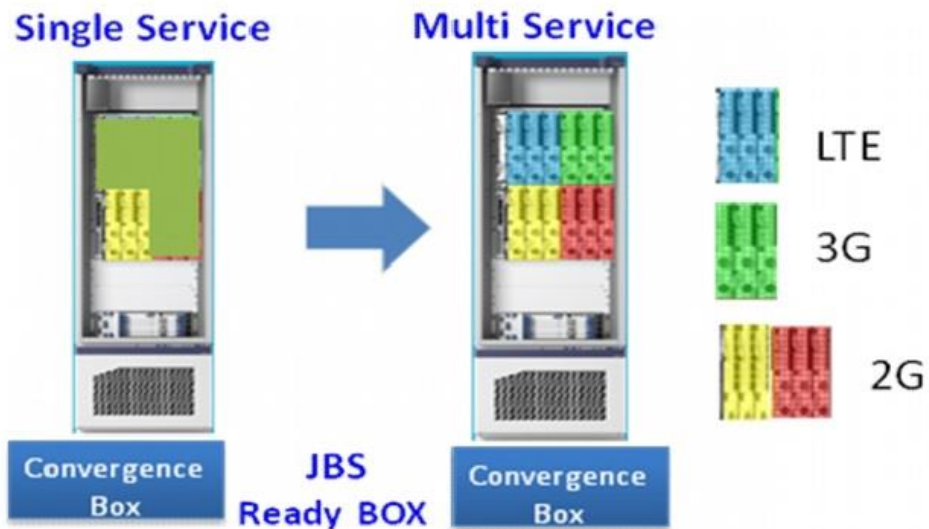
Pada gambar 2 merupakan gambar lengkap dari arsitektur jaringan LTE, *logical nodes* dan koneksi interface antar nodes yang diperlukan untuk menggelar jaringan LTE. Beberapa node dan interface diperlukan untuk koneksi antara jaringan LTE dengan jaringan lain seperti interoperability dengan 2G/3G.

### 2.1.1 Arsitektur Jaringan LTE dengan Co-existence perangkat 2G/3G

Implementasi jaringan dengan menggunakan teknik co-existence/penggabungan, seperti dijelaskan pada gambar 3 dibawah ini, beberapa jaringan nirkabel existing 2G, 3G, dan jaringan baru 4G LTE *dalam satu rack* sehingga operator 2G/3G dapat mengurangi biaya operasional dan belanja modal (CAPEX/OPEX). Dengan teknik co-existence operator telekomunikasi nirkabel di Indonesia dalam implementasi teknologi baru 4G LTE tidak memerlukan power tambahan dan dapat menghemat space untuk penempatan kabinet baru serta dapat lebih memudahkan operator telekomunikasi dalam melakukan *operation* dan *maintenance* perangkat.



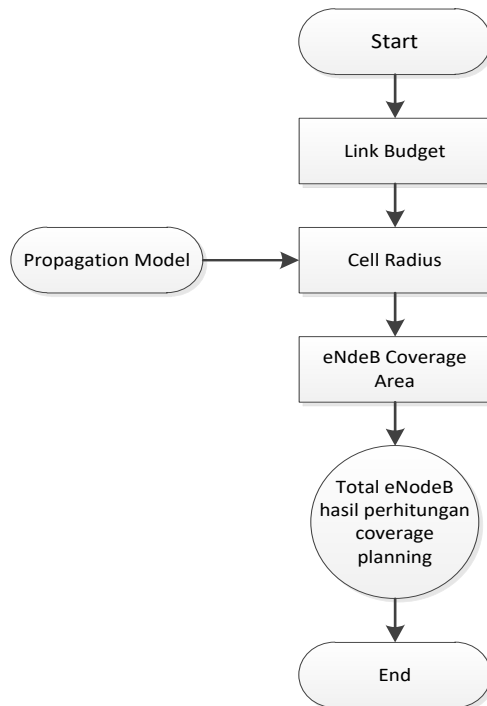
Gambar 2 Arsitektur Network LTE dan interoperability dengan 2G/3G



Gambar 3 Teknik Co-existence 2G/3G/4G

## 2.2 Coverage Planning LTE

Faktor utama yang menentukan cakupan jaringan adalah luas wilayah. Faktor lain yang berperan penting terhadap luas cakupan LTE adalah pemilihan teknologi karena setiap teknologi akan memiliki karakter dan desain sistem yang berbeda. Dengan mengetahui karakter dari teknologi juga maka dapat dilakukan perhitungan *link budget*. Proses coverage planning untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Skema Coverage Planning

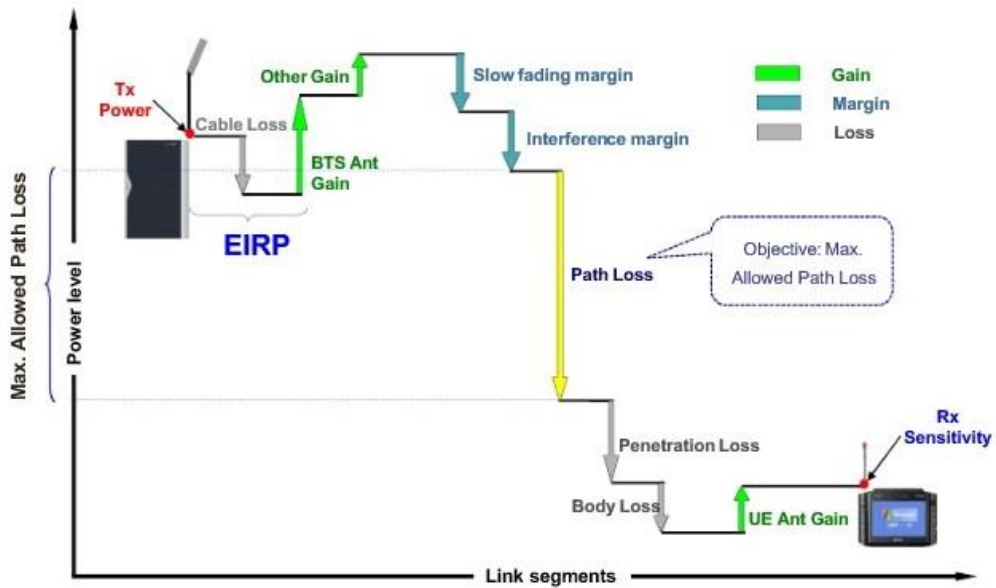
### 2.2.1 LTE Link Budget

*Link budget* adalah perhitungan dari semua gain dari pemancar dan terima setelah melalui redaman di berbagai media transmisi hingga akhirnya diterima oleh *receiver* di dalam sebuah sistem telekomunikasi.

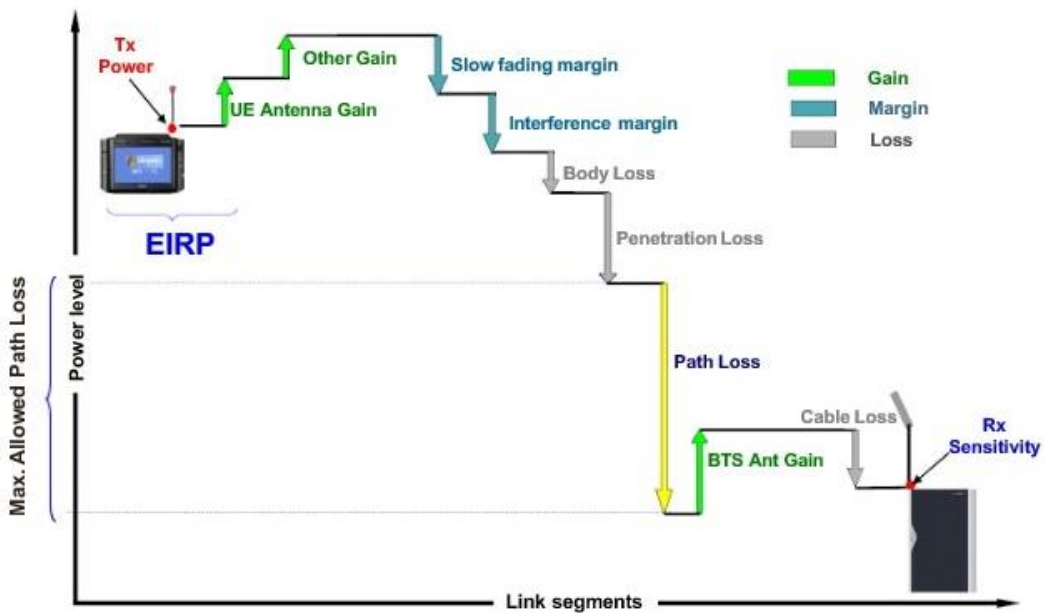
Formula berikut merupakan persamaan dasar dalam melakukan perhitungan Radio Link Budget:

$$\text{PathLoss(dB)} = \text{TxPower(dB)} + \text{TxGain(dB)} - \text{TxLoses(dB)} - \text{RequiredSINR(dB)} + \text{RxGain(dB)} - \text{RxLoses(dB)} - \text{RxNoises(dB)} \quad (1)$$

*Link budget* akan memperhitungkan besarnya redaman dari sinyal termasuk di dalamnya berbagai macam redaman propagasi yang dipancarkan selama proses propagasi berlangsung. Secara umum maka *link budget* bisa dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu kelompok perangkat pengirim dan penerima serta kelompok media propagasi. Adapun ilustrasi link budget dapat dilihat pada gambar 5 untuk arah Downlink dan gambar 6 untuk arah Uplink.



Gambar 5 Proses Link Budget untuk arah downlink



Gambar 6 Proses Link Budget untuk arah Uplink

### 2.2.2. Path Loss Model

Dalam proses perhitungan *coverage planning* menggunakan perhitungan *Link budget* dan model *Path Loss* dimana frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 900 MHz dan 1800 MHz. Kita menggunakan model pathloss Okumura-Hata untuk frekuensi kerja 900 MHz dan model propagasi Cost-231 Hata untuk frekuensi kerja 1800 MHz, karena model Cost-231 Hata cocok digunakan untuk frekuensi 1500 MHz - 2000 MHz. Perhitungan *Link Budget* diperlukan untuk menentukan redaman maksimum dari propagasi gelombang radio yang masih diijinkan agar eNodeB dan UE masih dapat berkomunikasi dengan baik pada

daerah cakupan atau disebut juga *Maximum Allowable Pathloss (MAPL)*. MAPL dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Molisch, 2011) :

$$MAPL = EIRP - \text{minimum signal strength required} + \text{gain} - \text{loss} - \text{margin} \quad (2)$$

$$EIRP = \text{Max Tx power} - \text{cable loss} - \text{body loss} + \text{antenna gain} \quad (3)$$

$$MSSR = \text{Rx sensitivity} - \text{antenna gain} + \text{cable loss} + \text{body loss} + \text{interference margin} \quad (4)$$

#### 2.2.2.1 Cell Radius

Setelah diketahui redaman maksimum, kemudian dapat ditentukan jari-jari sel dengan menggunakan rumus model link propagasi Okumura-Hata sebagai berikut

$$PL (dB) = A + B \log (d) + C \quad (5)$$

Dimana  $A$ ,  $B$ , dan  $C$  adalah factor yang tergantung dari frekuensi dan ketinggian antenna.

$$A = 69.55 + 26.16 \log (fc) - 13.82 \log (hb) - a (hm) \quad (6)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log (hb) \quad (7)$$

Dimana  $fc$  dalam satuan MHz dan  $d$  dalam km. fungsi dari  $a(hm)$  dan factor  $C$  tergantung dari lingkungan eksisting yang ada:

Untuk DKI Jakarta kita ambil asumsi sebagai metropolitan area, maka fungsi dari  $a(hm)$  sbb:

$$a(hm) = \begin{cases} 8.29(\log(1.54hm))^2 - 1.1 & \text{for } f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2(\log(11.75hm))^2 - 4.97 & \text{for } f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases}$$

$$C = 0$$

$$PL (dB) = 69.55 + 26.16 \log (fc) - 13.82 \log (hb) - (3.2 (\log (11.75hm))^2 - 4.97) + (44.9 - 6.55 \log (hb)) \log d + C \quad (8)$$

Adapun rumus model propagasi Cost-231 Hata untuk frekuensi kerja 1500 – 2000 MHz adalah sama, namun perbedaannya adalah pada fungsi  $a(hm)$  menggunakan parameter sbb:

$$a(hm) = \begin{cases} 1.1(\log(f_c) - 0.7)hm - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \\ 3.2(\log(11.75hm))^2 - 4.97 \end{cases}$$

#### 2.2.2.2 eNodeB Coverage Area

Setelah diperoleh jari-jari sel, kemudian dapat diperoleh luas sel dengan menggunakan persamaan berikut :

$$L_{cell} = 1.95 \times 2.6 d^2 \quad (9)$$

Dengan nilai konstanta  $K$  adalah 1.95 dan  $r$  adalah jarak jangkauan sel-sel. Nilai  $K$  didasarkan pada konfigurasi sel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan konfigurasi sel dengan 3 sektor yang masing-masing sektor dimodelkan secara hexagonal.

#### 2.2.2.3 Jumlah eNodeB Berdasarkan Coverage Planning

Jumlah eNodeB diperoleh dengan membagi luas area yang akan dilayani terhadap luas cell, atau dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{eNB} = A/A_{site} \quad (10)$$

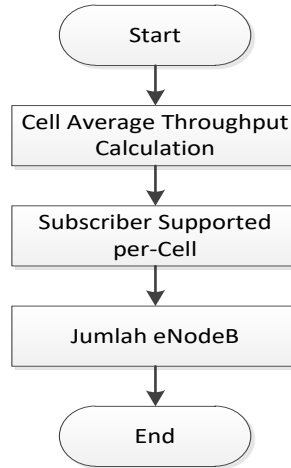
$A$  merupakan luas area yang akan dilayani.

### 2.3 Capacity Dimensioning

*LTE Capacity dimensioning* merupakan estimasi kapasitas jaringan/sistem yang diperlukan untuk mengetahui kemampuan yang dimiliki sistem untuk melayani



*demand* trafik, sehingga dapat diperoleh jumlah perangkat yang dibutuhkan untuk memenuhi *demand* trafik tersebut. Sehingga mengestimasi kebutuhan trafik merupakan langkah penting dalam perencanaan jaringan. Diagram alir proses *capacity dimensioning* dapat dilihat pada gambar 7 berikut ini:



Gambar 7 Skema *Capacity Dimensioning*

### 2.3.1 Cell Average Throughput

*Cell Average Throughput* menggunakan skema *adaptif modulation*. Dengan menggunakan tabel hasil simulasi antara nilai SINR dan *Modulation Code Scheme* (MCS), maka akan diperoleh *data rate* per MCS dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Data\ rate = 12\ subcarrier \times 7\ symbol\ OFDM \times 100\ RB \times 2slot \times code\ rate \times Modulation\ bit \times (100\% - 20\%) \times overhead \times gain\ MIMO \quad (11)$$

Setelah diperoleh *data rate* per MCS, kemudian dapat ditentukan *data rate* yang ada dalam satu sel dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Cell\ Avg\ throughput = (SINR\ probability \times Avg\ Throughput\ SINR) \quad (12)$$

*SINR Probability* yaitu presentasi kemungkinan sebaran SINR yang identik dengan MCS yang bersangkutan. *SINR probability* diperoleh dari perbandingan luas wilayah cakupan masing-masing MCS.

Dimana:

*SINRprobabaility* = kemungkinan terjadinya nilai SINR spesifik pada cell edge yang didapat dari simulasi.

$$AvgThroughputSINR = Rata-rata\ throughput\ terhadap\ nilai\ SINR \quad (13)$$

### 2.3.2 Subscriber Supported per Cell

Untuk menentukan jumlah subsciber yang bisa ditampung satu cell, terlebih dahulu menentukan model trafik yang digunakan. Parameter traffic mengacu pada table 1:

Tabel. 1 Model Trafik

| User Behaviour   | Dense Urban               |      | Urban                     |      | Sub Urban                 |      | Rural Area                |      |
|------------------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
|                  | Traffic Penetration Ratio | BHSA | Traffic Penetration Ratio | BHSA | Traffic Penetration Ratio | BHSA | Traffic Penetration Ratio | BHSA |
| VoIP             | 100%                      | 1.4  | 100%                      | 1.3  | 50%                       | 1    | 50%                       | 0.9  |
| Video Phone      | 20%                       | 0.2  | 20%                       | 0.16 | 10%                       | 0.1  | 5%                        | 0.05 |
| Video Conference | 20%                       | 0.2  | 15%                       | 0.15 | 10%                       | 0.1  | 5%                        | 0.05 |
| Real Time Gaming | 30%                       | 0.2  | 20%                       | 0.2  | 10%                       | 0.1  | 5%                        | 0.1  |
| Streaming Media  | 15%                       | 0.2  | 15%                       | 0.15 | 5%                        | 0.1  | 5%                        | 0.1  |
| IMS Signalling   | 40%                       | 5    | 30%                       | 4    | 25%                       | 3    | 20%                       | 3    |
| Web Browsing     | 100%                      | 0.6  | 100%                      | 0.4  | 40%                       | 0.3  | 30%                       | 0.2  |
| File Transfer    | 20%                       | 0.3  | 20%                       | 0.2  | 20%                       | 0.2  | 10%                       | 0.2  |
| Email            | 10%                       | 0.4  | 10%                       | 0.3  | 10%                       | 0.2  | 5%                        | 0.1  |
| P2P File Sharing | 20%                       | 0.2  | 20%                       | 0.3  | 20%                       | 0.2  | 5%                        | 0.1  |

Setelah ditentukan model trafik, maka akan diperoleh single user throughput yang kemudian akan diperoleh jumlah subscriber per sel. Langkah – langkah *capacity dimensioning* untuk lebih jelasnya pada table 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Langkah-langkah Capacity Dimensioning

|        |                            |                        |
|--------|----------------------------|------------------------|
| Step-1 | DL Cell Average Capacity   | a. (Mbps)              |
| Step-2 | Design BH DL Cell Loading  | b. (%)                 |
| Step-3 | Design BH DL Cell Capacity | c = axb (Mbps)         |
| Step-4 | Peak to Average Ratio      | d. (%)                 |
| Step-5 | Avg BH DL Throughput /Sub  | e. (Kbps)              |
| Step-6 | Sector Number/Site         | f. X sector            |
| Step-7 | Subs supported in a site   | g. $[(cxf) / (1+d)]/e$ |

### 3.3.2.3 Jumlah eNodeB Berdasarkan Capacity Dimensioning

Jumlah eNodeB diperoleh dengan membagi estimasi jumlah pelanggan yang akan dilayani terhadap jumlah *subscriber per cell*.

## 2.4 Teori Ekonomi

Model tekno ekonomi yang digunakan pada penelitian ini adalah adalah model *bottom up* dengan metode *discounted cash flow (DCF)*. Model ini dipilih karena cukup memberikan tuntunan umum dan menyeluruh untuk mengidentifikasi *input*, mempertimbangkan beberapa parameter *input* seperti :

- *Revenue*
- CAPEX
- OPEX

Sedangkan *output* dari fungsi model ini antara lain :

- *Net Present Value (NPV)*
- *Internal Rate of Return (IRR)*
- *Pay Back Period (PBP)*

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.

### 2.4.1 Net Present Value (NVP)

*Net Present Value* adalah kriteria investasi yang banyak digunakan dalam mengukur apakah suatu proyek itu layak atau tidak. NPV merupakan selisih antara *Present Value* dari investasi dan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas arus bersih (kas arus operasional maupun kas arus terminal) di masa yang akan datang. Untuk menentukan nilai sekarang perlu ditentukan tingkat suku bunga yang relevan. Rumus perhitungan NPV adalah sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (14)$$

### 2.4.2 Internal Rate Return (IRR)

*Internal Rate of Return (IRR)* adalah satu metode untuk mengukur tingkat investasi. Tingkat investasi adalah suatu tingkat bunga dimana seluruh arus kas bersih setelah dikalikan dengan discounted factor atau telah dibuat nilai sekarang (*present value*), yang nilainya sama dengan biaya investasi. Nilai IRR dapat dihitung dengan mencari tingkat bunga (*discounted rate*) yang akan menghasilkan NVP sama dengan nol. IRR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (15)$$

Kriteria kelayakan investasi berdasarkan nilai IRR adalah jika besarnya nilai IRR lebih besar daripada tingkat suku bunga pada saat itu.

### 2.4.3 Payback Period (PBP)

*Payback Periode* adalah periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*initial cash investment*) dengan menggunakan arus kas atau suatu periode yang menunjukkan berapa lama modal yang ditanamkan dalam proyek tersebut dapat kembali. Dengan kata lain, *Payback Periode* merupakan rasio antara *initial cash investment* dan *cash inflow*-nya yang hasilnya merupakan satuan waktu. Selanjutnya nilai rasio ini dibandingkan dengan maksimum *Payback Periode* yang dapat diterima.

Rumus untuk menghitung *Payback Periode*:

$$\text{Payback Period (PP)} = \frac{\text{Initial Investment}}{\text{Annual cash inflows}} = \frac{C_0}{C} \quad (16)$$

Kriteria kelayakan investasi berdasarkan PBP adalah semakin pendek waktu yang diperlukan untuk pengembalian biaya investasi, rencana investasi tersebut semakin menguntungkan.

#### 2.4.4 Average Revenue Per User (ARPU)

Rata-rata pendapatan per pengguna (kadang-kadang rata-rata pendapatan per unit) biasanya disingkat ARPU adalah ukuran terutama digunakan oleh konsumen dan jaringan komunikasi perusahaan, itu adalah penghasilan total dibagi dengan jumlah pelanggan. Untuk menghitung jumlah keuntungan dari salah satu perusahaan telekomunikasi jika ARPU dari perusahaan ialah sebesar Rp X, maka keuntungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

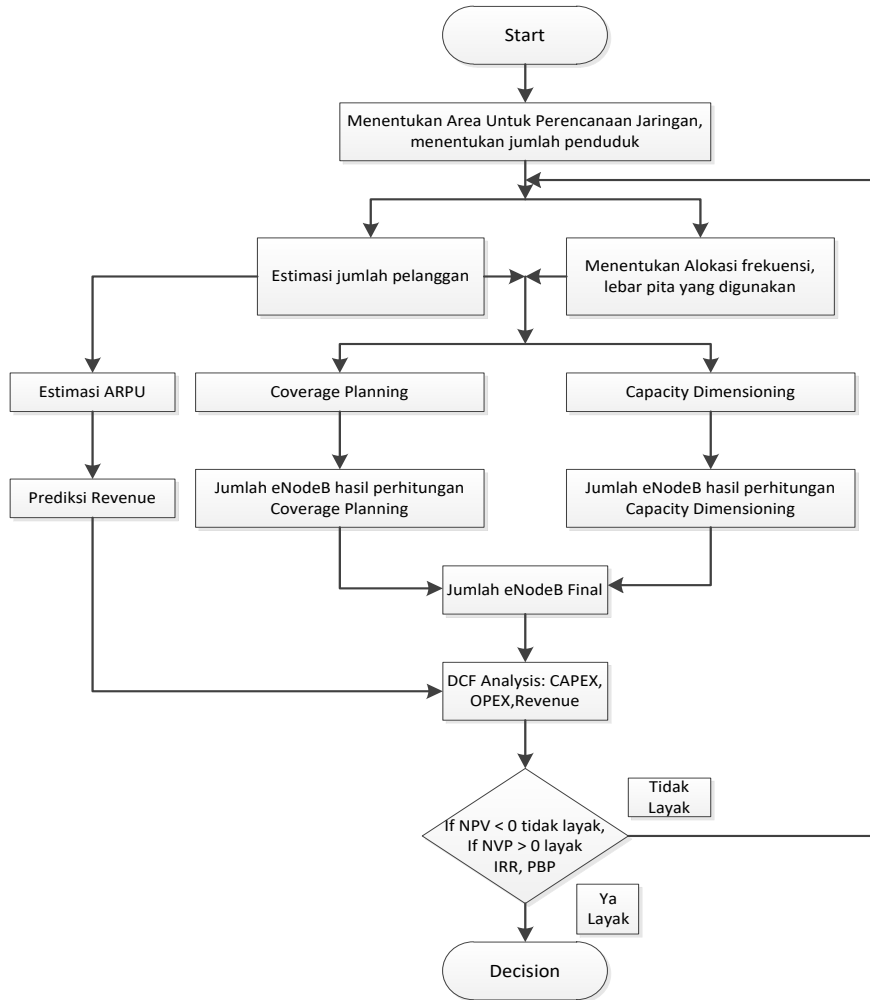
$$\text{Revenue} = \text{ARPU} \times \sum \text{Subscriber} \quad (17)$$

### 3. PEMODELAN DAN PERENCANAAN IMPLEMENTASI 4G LTE

Adapun alur penelitian dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 8. Pada gambar tersebut menjelaskan bahwa pertama-tama menentukan area untuk perencanaan jaringan dan jumlah penduduk. Kemudian menentukan alokasi frekuensi, lebar pita yang digunakan dan estimasi jumlah pelanggan.

Selanjutnya melakukan coverage planning dan capacity dimensioning untuk memperoleh jumlah eNodeB. Dari masing-masing jumlah eNodeB berdasarkan hasil coverage planning maupun capacity dimensioning, diambil jumlah eNodeB yang terbesar yang merupakan jumlah eNodeB final.

Kemudian dilakukan perhitungan biaya dan keuntungan untuk melakukan *discounted cash flow analysis*. Dari hasil perhitungan discounted cash flow tersebut diperoleh output IRR, PBP dan *Net Present Value* (NPV). Apabila NPV>0, Maka perusahaan memperoleh keuntungan, sehingga proyek layak dilaksanakan. Apabila NPV=0 maka perusahaan tidak memperoleh keuntungan maupun kerugian. Jika NPV<0 maka perusahaan rugi, sehingga proyek tidak layak dilaksanakan.



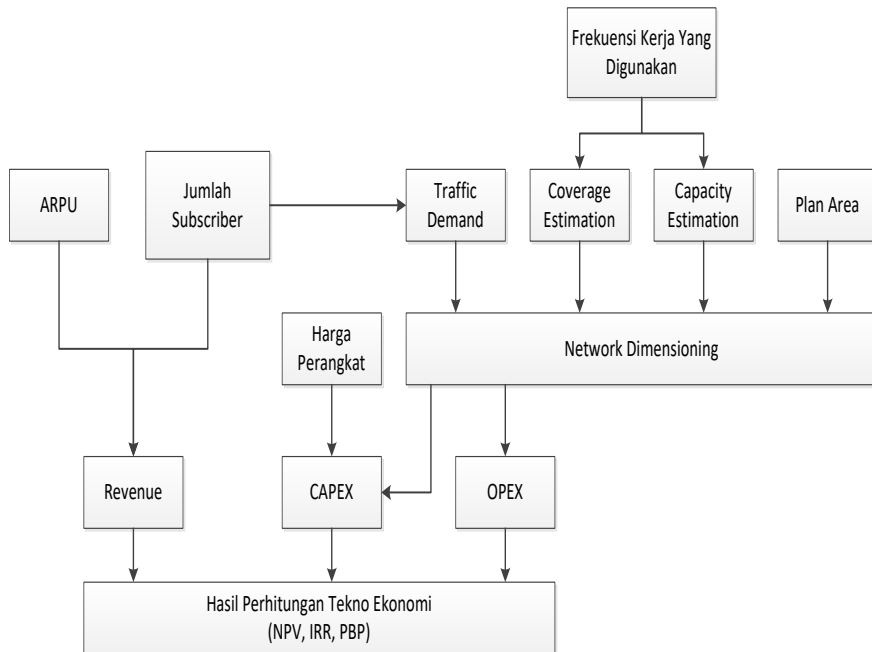
Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini model tekno-ekonomi diadaptasi menjadi skema yang digambarkan pada gambar 9, ada 3 bagian parameter utama yaitu parameter Tekno Ekonomi, sistem eksisting dan perancangan LTE.

Sistem eksisting 2G/3G yang dibahas dalam penelitian ini meliputi trafik data pelanggan yang dikaji pada interval 2013 sampai dengan 2019 yang meliputi layanan pada level BTS, NodeB, BSC dan RNC. Kapasitas maksimal eNodeB dihitung dengan skema *adaptif modulation*. Dengan menggunakan tabel hasil simulasi antara nilai SINR dan *Modulation Code Scheme (MCS)* sebagai acuan implementasi integrasi. Sedangkan pengolahan trafik mengacu kepada nilai trafik kapasitas tertinggi dari tiap site eNodeB. Perhitungan perencanaan coverage menggunakan menggunakan metoda Okumura Hatta untuk frekuensi 900 Mhz dan Cost-231 Hata untuk frekuensi 1800 MHz.

Forecasting pertumbuhan jumlah pelanggan yang dilakukan berdasarkan data historis operator menggunakan *time series analysis*. Dari perhitungan traffic dan kapasitas tersebut maka dapat kita estimasi jumlah perangkat yang mendukung jaringan LTE seperti eNodeB, MME, Gateway (SGW/PGW), Hal tersebut akan mempengaruhi CAPEX dan OPEX dari analisa tekno ekonomi yang

kita lakukan. Perencanaan migrasi mempertimbangkan perbandingan kapasitas dan traffic data eksisting dengan perhitungan forecasting traffic data pada periode yang akan datang. Hal ini untuk mencegah terjadinya overload traffic 2G dan 3G, sehingga implementasi dilakukan saat forecasting mendekati kapasitas maksimum jaringan 2G dan 3G. Skema tekno ekonomi terdiri dari beberapa parameter yang mempengaruhi antara lain: data jumlah pelanggan untuk menghitung *Revenue*, biaya CAPEX dan OPEX yang dipengaruhi jumlah elemen perangkat yang digunakan sehingga menghasilkan output berupa NPV, IRR, PBP.



Gambar 9 Skema Perencanaan Migrasi 2G/3G Menuju 4G LTE Dengan Tekno Ekonomi

#### 4. ANALISA DATA DAN SIMULASI

Sesuai dengan alur penelitian, sebelum dilakukan perhitungan tekno ekonomi dengan metode *discounted cash flow*, maka dilakukan perhitungan jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan *4G LTE* pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz. Untuk menentukan jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan LTE tersebut dilakukan *LTE Network Planning* meliputi *coverage planning* maupun *capacity dimensioning*.

Penelitian ini menganalisis kebutuhan eNodeB dengan *bandwidth* 5 MHz pada frekuensi 900 MHz dan *bandwidth* 10 MHz pada frekuensi 1800 MHz. Pertimbangan skenario tersebut dikarenakan pita 900 MHz saat ini digunakan oleh GSM dan 3G sehingga tidak semua *bandwidth* dapat digunakan.

Sesuai dengan prosedur yang digunakan untuk *link budget coverage planning* yang telah dijelaskan sebelumnya pada Bab III, maka menghitung besarnya *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL). Parameter yang digunakan untuk menghitung MAPL mengacu pada *ECC report*. Parameter yang digunakan dalam perencanaan jaringan *4G LTE* dapat dilihat pada tabel 3. Sedangkan parameter *uplink* dan *downlink budget* dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 3. Skenario Perencanaan Jaringan LTE

| Morphology               | Uplink    | Downlink  |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Konfigurasi Antena       | 1 x 2     | 2 x 2     |
| Data Rate pada cell edge | 500 kbps  | 1000 kbps |
| MCS at Cell Edge         | QPSK, 1/3 | QPSK, 2/5 |

#### 4.1 Perhitungan Link Budget

Perhitungan link budget adalah untuk menentukan daya terima minimum yang diterima pelanggan sehingga masih dapat menggunakan layanan dengan baik. Adapun tahapan perhitungan link budget adalah sebagai berikut:

##### 4.1.1 Perhitungan Link Budget Uplink

Berikut merupakan ringkasan perhitungan link budget uplink berdasarkan beberapa parameter yang telah ditentukan:

Tabel 4 Parameter Uplink

| Parameter                | Uplink 900 MHz | Uplink 1800 MHz |
|--------------------------|----------------|-----------------|
| UE Tx power              | 23dBm          | 23dBm           |
| UE Tx Antena Gain        | 2 dBi          | 2 dBi           |
| Tx Cable loss            | (-)            | (-)             |
| Rx Noise Figure          | 2 dB           | 2 dB            |
| Rx SINR                  | (-) 7dB QPSK   | (-) 7dB QPSK    |
| Bandwidth                | 5 MHz          | 10 MHz          |
| Rx Cable loss            | 2 dB           | 2 dB            |
| Rx Interference Margin   | 2 dB           | 2 dB            |
| Rx Antenna Gain          | 17 dBi         | 19dBi           |
| Control channel overhead | (-)            | (-)             |
| Shadow Fading margin     | 8.9 dB         | 8.9 dB          |
| Total Penetration loss   | 25dB           | 25dB            |

##### 4.1.2 Perhitungan Link Budget Downlink

Berikut merupakan ringkasan perhitungan *link budget downlink* berdasarkan beberapa parameter yang telah ditentukan:

Tabel 5 Parameter Downlink

| Parameter       | Downlink 900 MHz | Downlink 1800 MHz |
|-----------------|------------------|-------------------|
| Tx power        | 43 dBm           | 43 dBm            |
| Tx Antena Gain  | 17 dBi           | 19 dBi            |
| Tx Cable loss   | 2 dB             | 2 dB              |
| Rx Noise Figure | 7 dB             | 7 dB              |

|                          |              |              |
|--------------------------|--------------|--------------|
| Rx SINR                  | (-) 7dB QPSK | (-) 7dB QPSK |
| Bandwidth                | 5 MHz        | 10 MHz       |
| Rx Cable loss            | (-)          | (-)          |
| Rx Interference Margin   | 4 Db         | 4 Db         |
| Rx Antenna Gain          | 2 dBi        | 2 dBi        |
| Control channel overhead | 1 dB         | 1 dB         |
| Shadow Fading margin     | 8.9 dB       | 8.9 dB       |
| Total Penetration loss   | 25 dB        | 25 dB        |

Berdasarkan parameter diatas, diperoleh *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL) untuk frekuensi 900 dan 1800 MHz baik untuk arah *uplink* dan *downlink* dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel.6 Besarnya MAPL Untuk Arah Uplink Pada Frekuensi 900MHz dan 1800MHz

| Frekuensi | Bandwidth |        |
|-----------|-----------|--------|
|           | 5 Mhz     | 10 Mhz |
| 900 MHz   | 118.3     | N/A    |
| 1800 Mhz  | N/A       | 118.8  |

Tabel.7 Besarnya MAPL Untuk Arah Downlink Pada Frekuensi 900MHz dan 1800MHz

| Frekuensi | Bandwidth |        |
|-----------|-----------|--------|
|           | 5 Mhz     | 10 Mhz |
| 900 MHz   | 124.1     | N/A    |
| 1800 Mhz  | N/A       | 122.2  |

#### 4.1.3 Perhitungan Area Sel

Berdasarkan data *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL) diatas, dapat dilakukan perhitungan untuk memperoleh besarnya jarak antara eNodeB terhadap *Mobile Station* (MS). Model propagasi yang digunakan untuk *link budget* menggunakan Cost Hata untuk frekuensi 900 MHz dan Cost-231 untuk frekuensi 1800MHz. Adapun jarak antara MS terhadap eNodeB pada arah *uplink* dapat dilihat pada tabel 8

Tabel 8 Besarnya Jarak MS ke eNodeB Untuk Type Dense Urban

| Bandwidth | d (km) Uplink | d (km) Down link |
|-----------|---------------|------------------|
|           | dense urban   | dense urban      |
| 5 MHz     | 1.16          | 2.52             |
| 10 MHz    | 0.52          | 1.14             |

Table 8 diatas menunjukkan semakin besar frekuensi yang digunakan, semakin kecil jangkauan sinyal dari MS ke eNode B. Demikian pula untuk *bandwidth* yang



digunakan, semakin besar *bandwidth* yang digunakan, semakin kecil jarak antara MS ke eNodeB.

Untuk menentukan jumlah eNodeB yang diperlukan, maka digunakan jarak yang paling sedikit yaitu arah Uplink karena dalam perencanaan menggunakan jarak yang paling kecil untuk mengantisipasi kondisi *worst case*, untuk memperoleh luas site sehingga dapat diperoleh jumlah eNodeB yang dibutuhkan. Asumsi jumlah sektor dalam 1 sel dalam penelitian ini sebanyak 3 sektor dalam bentuk hexagonal, sehingga persamaan luas site adalah sebagai berikut:

$$L = 1,95 \times 2,6 \times d^2$$

Dimana:

$d$  = jarak antara eNodeB ke *Mobile Station* (MS).

Hasil perhitungan luas *cell* berdasarkan persamaan diatas dapat dilihat pada table 9

Tabel 9 Luas Sel LTE

| Type                        | Dense Urban    |                  |
|-----------------------------|----------------|------------------|
| Frekuensi/Bandwidth         | 900MHz / 5 MHz | 1800MHz / 10 MHz |
| Luas Sel (km <sup>2</sup> ) | 6.82           | 1.37             |

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

Jumlah eNodeB = Luas Area/Luas Sel

Hasil perhitungan jumlah eNodeB untuk mencover seluruh wilayah *DKI Jakarta* berdasarkan persamaan diatas dapat dilihat pada tabel 10

Tabel 10 Jumlah eNodeB untuk mencover seluruh wilayah DKI Jakarta

| Type                | Dense Urban    |                  |
|---------------------|----------------|------------------|
| Frekuensi/Bandwidth | 900MHz / 5 MHz | 1800MHz / 10 MHz |
| Jumlah eNodeB       | 96             | 476              |

Area DKI Jakarta merupakan metropolitan dengan kategori area dense urban, maka Jumlah eNodeB yang diperlukan untuk perencanaan teknologi LTE di DKI Jakarta pada frekuensi 900 MHz dan 1800 Mhz dapat dilihat pada table 10. Pada tabel tersebut terlihat bahwa semakin besar frekuensi yang digunakan, semakin banyak jumlah eNodeB yang diperlukan.

#### 4.2. LTE Capacity Dimensioning

*Capacity dimensioning* adalah sebuah proses dalam menentukan skala jaringan berdasarkan kebutuhan kapasitasnya. *Capacity dimensioning* dilakukan untuk setiap karakteristik wilayah dan *bandwidth* yang berbeda-beda. Karakteristik wilayah DKI Jakarta termasuk dalam kategori wilayah dense urban. Sedangkan *bandwidth* yang digunakan adalah 5 MHz dan 10 MHz. Parameter trafik mengacu pada LTE Radio Network Planning, yang ditunjukkan pada tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11 Parameter Trafik 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 | Through put per Session (Kbit) | Through put per Session (Kbit) |
| VoIP               | 26.9               | 80                   | 0.4                    | 1%   | 26.9               | 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 Signaling      | 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                         |

Tabel 12. Model Trafik

| User Behaviour   | Dense Urban               |      | Urban                     |      | Sub Urban                 |      | Rural Area                |      |
|------------------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
|                  | Traffic Penetration Ratio | BHSA | Traffic Penetration Ratio | BHSA | Traffic Penetration Ratio | BHSA | Traffic Penetration Ratio | BHSA |
| VoIP             | 100%                      | 1.4  | 100%                      | 1.3  | 50%                       | 1    | 50%                       | 1.3  |
| Video Phone      | 20%                       | 0.2  | 20%                       | 0.16 | 10%                       | 0.1  | 5%                        | 0.16 |
| Video Conference | 20%                       | 0.2  | 15%                       | 0.15 | 10%                       | 0.1  | 5%                        | 0.15 |
| Real Time Gaming | 30%                       | 0.2  | 20%                       | 0.2  | 10%                       | 0.1  | 5%                        | 0.2  |
| Streaming Media  | 15%                       | 0.2  | 15%                       | 0.15 | 5%                        | 0.1  | 5%                        | 0.15 |
| IMS Signanlling  | 40%                       | 5    | 30%                       | 4    | 25%                       | 3    | 20%                       | 4    |
| Web Browsing     | 100%                      | 0.6  | 100%                      | 0.4  | 40%                       | 0.3  | 30%                       | 0.4  |
| File Transfer    | 20%                       | 0.3  | 20%                       | 0.2  | 20%                       | 0.2  | 10%                       | 0.2  |
| Email            | 10%                       | 0.4  | 10%                       | 0.3  | 10%                       | 0.2  | 5%                        | 0.3  |
| P2P File Sharing | 20%                       | 0.2  | 20%                       | 0.3  | 20%                       | 0.2  | 5%                        | 0.3  |

Asumsi perhitungan *downlink cell capacity* adalah sebagai berikut:

- 1) Jumlah sektor per site = 3
- 2) Spectral efficiency = 1.74bps/Hz/cell
- 3) *Peak to average ratio* untuk daerah dense urban sebesar 40%.
- 4) Antena yang digunakan MIMO 2 x 2
- 5) Modulasi QPSK, 8PSK, 16QAM, 32 QAM, 64 QAM data rate 44.77 Kbps dan 30 Kbps
- 6) *Downlink cell average capacity* dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13 Downlink Cell Average Capacity

| Frekuensi | Bandwidth | Dense Urban |
|-----------|-----------|-------------|
| 900 MHz   | 5 MHz     | 16.8 Mbps   |
| 1800 MHz  | 10MHz     | 33.6 Mbps   |

Besarnya *Peak to Average Ratio* untuk menghitung besarnya *single user throughput* untuk masing-masing type area yang ditunjukkan pada tabel 14.

Tabel 14 *Peak to Average Ratio* masing-masing tipe area

| Morphology            | Dense Urban | Urban | Sub Urban | Rural Area |
|-----------------------|-------------|-------|-----------|------------|
| Peak To Average Ratio | 40%         | 20%   | 10%       | 0%         |

Berdasarkan parameter-parameter yang telah ditunjukkan pada tabel 11 dan 12 maka diperoleh *single user throughput* untuk masing-masing type ditunjukkan pada tabel 15.

Tabel 15 *Single user throughput* untuk Dense Urban

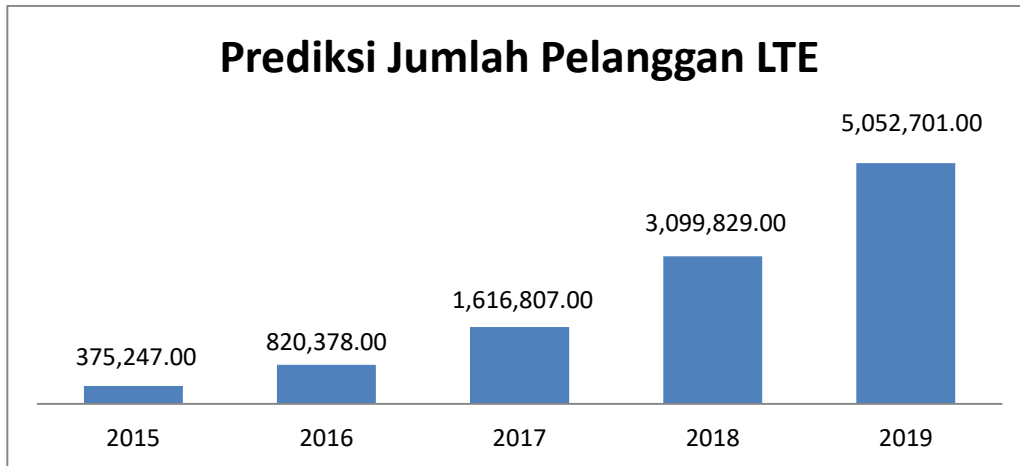
|  | Dense Urban |          |
|--|-------------|----------|
|  | UL(Kbit)    | DL(Kbit) |
| Single User Throughput in Busy Hour (Kbps) | 10.80       | 44.77    |

Berdasarkan hasil perhitungan *capacity planning* diperoleh jumlah *user per cell* yang ditunjukkan pada tabel 16 Dari table tersebut terlihat bahwa semakin besar *bandwidth* yang digunakan, semakin besar kapasitas *user* dalam satu sel yang dapat dihandle.

Tabel. 16 Jumlah subscriber dalam satu sel pada *bandwidth* 5 MHz dan 10 MHz

| Bandwidth | 5 MHz    | 10 MHz   |
|-----------|----------|----------|
| Downlink  | 603 Subs | 804 Subs |

Setelah diperoleh jumlah *subscriber* dalam satu *cell*, maka diperoleh jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan 4G LTE. Jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan 4G LTE di area DKI Jakarta ditentukan oleh target jumlah pelanggan yang akan dilayani. Estimasi jumlah pelanggan 4G LTE dalam penelitian ini mengacu pada estimasi jumlah pelanggan operator Indosat Ooredoo, seperti pada gambar 10.



Gambar 10 Grafik Prediksi Jumlah Pelanggan LTE Indosat Ooredoo (Sumber: data internal Indosat, 2015)

Pada penelitian ini berdasarkan grafik diatas jumlah pelanggan LTE pada tahun pertama sebesar 375.247 pelanggan. Dengan demikian diperoleh jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan LTE pada area Jabodetabek dapat dilihat pada Tabel 17

Tabel 17. Jumlah eNodeB berdasarkan capacity dimensioning

| Bandwidth | Type Area   | Jumlah eNodeB |
|-----------|-------------|---------------|
| 5 MHz     | Dense Urban | 622           |
| 10 MHz    | Dense Urban | 466           |

Jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan LTE pada daerah DKI Jakarta berdasarkan *capacity planning* dipengaruhi oleh besarnya *bandwidth* yang digunakan. pada gambar diatas terlihat bahwa penggunaan bandwidth 10 MHz lebih efisien dibandingkan penggunaan *bandwidth* 5 MHz. Hal ini dikarenakan semakin besar *bandwidth* yang digunakan, semakin sedikit eNodeB yang dibangun.

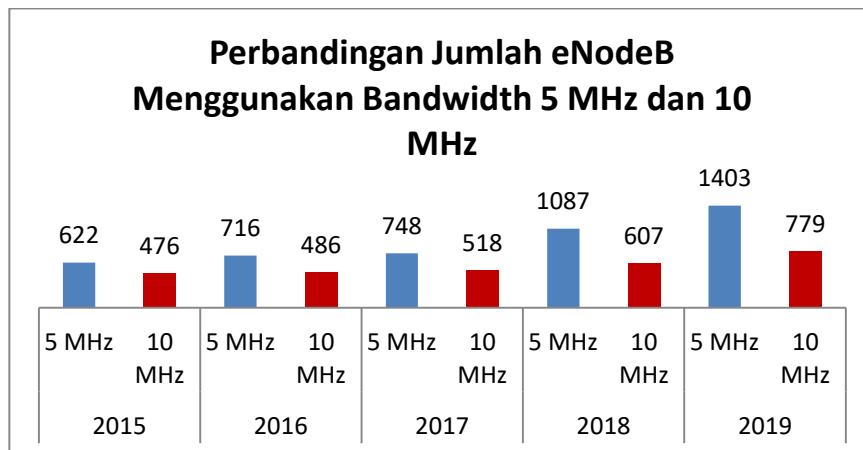
#### 4.2.1 Jumlah eNodeB Final

Jumlah eNodeB yang dibutuhkan dengan memilih jumlah eNodeB terbesar dari hasil *coverage planning* maupun *capacity dimensioning*. Jumlah eNodeB pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz ditunjukkan pada tabel 18.

Tabel 18 Perbandingan Jumlah eNodeB Berdasarkan Coverage Planning dan Capacity Planning Pada Frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz

| Bandwidth  | Tipe Area   | Frekuensi 900 MHz dan 1800MHz |          |              |
|------------|-------------|-------------------------------|----------|--------------|
|            |             | Coverage                      | Capacity | Final eNodeB |
| BW = 5 MHz | Dense Urban | 96                            | 622      | 622          |
| BW=10MHz   | Dense Urban | 476                           | 466      | 476          |

Setelah diperoleh hasil perhitungan jumlah eNodeB dari *coverage planning* maupun *capacity dimensioning*, maka jumlah eNodeB yang perlu dibangun adalah jumlah terbesar dari hasil perhitungan *coverage planning* maupun *capacity dimensioning*. Sehingga jumlah eNodeB yang dibutuhkan dalam lima tahun pertama untuk membangun jaringan teknologi LTE di area DKI Jakarta dapat dilihat pada gambar 11 berikut ini.



Gambar 11 Grafik Perbandingan Jumlah eNodeB menggunakan *bandwidth* 5 MHz dan 10 MHz

### 4.3 Analisa Tekno Ekonomi

Pada penelitian ini dilakukan analisis ekonomi dengan menggunakan model tekno ekonomi *discounted cash flow* (DCF). Model ini dipilih karena cukup memberikan tuntunan umum dan menyeluruh untuk mengidentifikasi masukan berupa struktur biaya (CAPEX, OPEX, serta *Revenue*), Model ini juga cukup komprehensif karena sudah memberikan semua parameter dasar yang digunakan dalam perhitungan analisa tekno ekonomi yang memasukkan unsur ekonomi dan teknik. Parameter output nya adalah parameter kelayakan implementasi seperti IRR, NPV, PBP.

#### 4.3.1 Skenario Penggelaran

Penggelaran jaringan 4G LTE pada penelitian ini untuk melihat seberapa layak penyelenggaraan jaringan 4G LTE 900 MHz dan 1800 MHz oleh operator seluler Indosat Ooredoo menggunakan dua skenario:

- a. Skenario I, penggelaran migrasi 4G LTE menggunakan bandwidth 5 MHz pada frekuensi 900MHz dengan metoda co-existence.
- b. Skenario II, penggelaran migrasi 4G LTE menggunakan bandwidth 10 MHz pada frekuensi 1800 MHz dengan metoda co-existence.

#### 4.3.2 Struktur Biaya

Komponen biaya terdiri atas CAPEX dan OPEX. untuk asumsi biaya perangkat (CAPEX) diperoleh referensi harga dari vendor PT. Ericson Indonesia, sedangkan OPEX diperoleh dari referensi biaya operasional yang dikeluarkan dalam Laporan Tahunan oleh PT. Indosat dalam menggelar jaringan telekomunikasi seluler.

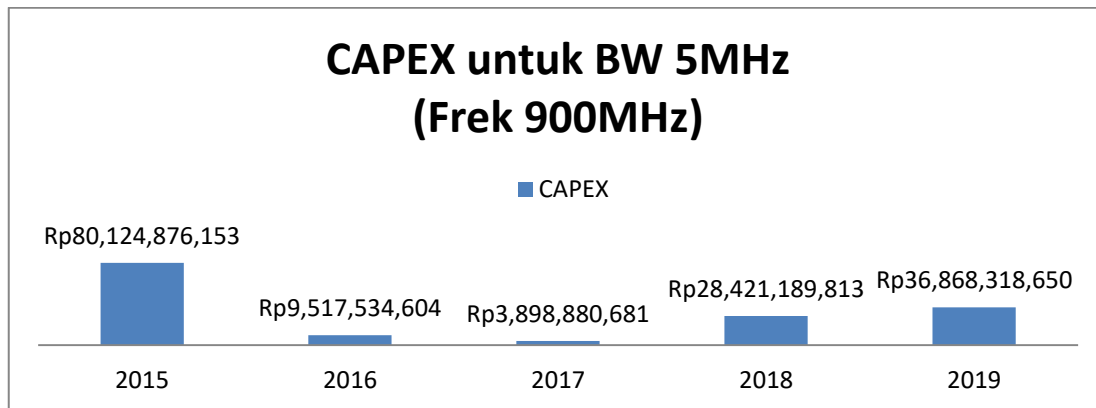
#### 4.3.2.1 Capital Expenditure (CAPEX)

Asumsi CAPEX merupakan biaya yang harus dikeluarkan untuk memperoleh ataupun meng-upgrade aset tetap seperti tanah, bangunan, dan mesin produksi/perangkat telekomunikasi. Asumsi CAPEX dalam penelitian meliputi biaya perangkat dalam System Architecture Evolution (SAE) yang menghasilkan Evolution Packet System (EPS), EPS terdiri dari perangkat Evolved Packet Core (EPC): MME, SGW/PGW, HSS dan Evolution UTRAN (E-UTRAN/ eNodeB). Nilai variabel CAPEX ditunjukkan untuk skenario I pada tabel 19

Tabel 19. Asumsi *Capital Expenditure* (CAPEX) Awal Untuk Skenario I

| NE                          | Harga per NE     | Konversi Rp                |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| eNodeB                      | \$7,287          | Rp59,516,441,334.00        |
| SGW/PGW                     | \$673,860        | Rp8,848,455,660.00         |
| LTE HSS (HW)                | \$98,866         | Rp1,298,209,446.00         |
| Installation & Commisioning | Rp 4,206,127,754 | Rp 4,206,127,754.00        |
| SW & Liecense               | \$796,723        | Rp10,461,769,713           |
| <b>Total Investasi Awal</b> |                  | <b>Rp80,124,876,153.00</b> |

#### a. Besarnya *Capital Expenditure* (CAPEX) untuk skenario I

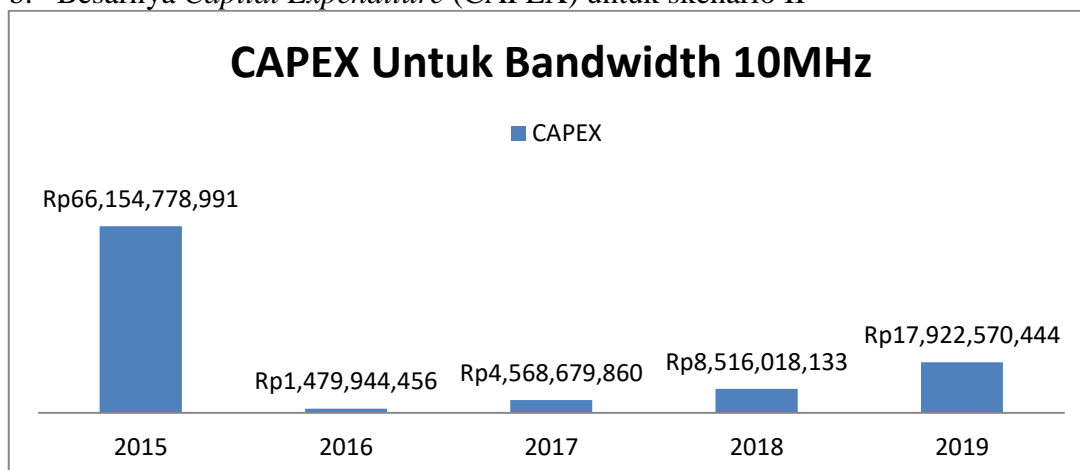


Gambar 12. Grafik Estimasi CAPEX 4G LTE untuk Frekuensi 900 MHz dengan Bandwidth5MHz

Nilai variabel CAPEX ditunjukkan untuk scenario II pada tabel 20.

Tabel 20 Asumsi *Capital Expenditure* (CAPEX) Awal Untuk Skenario II

| NE                          | Harga per NE     | Konversi Rp                |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| eNodeB                      | \$7,287          | Rp45,546,344,172.00        |
| SGW/PGW                     | \$673,860        | Rp8,848,455,660.00         |
| LTE HSS (HW)                | \$98,866         | Rp1,298,209,446.00         |
| Installation & Commisioning | Rp 4,206,127,754 | Rp4,206,127,754.00         |
| SW & Liecense               | \$796,723        | Rp10,461,769,713           |
| <b>Total Investasi Awal</b> |                  | <b>Rp66,154,778,991.00</b> |

b. Besarnya *Capital Expenditure* (CAPEX) untuk skenario II

Gambar 13 Grafik Estimasi CAPEX 4G LTE untuk Frekuensi 1800 MHz dgn Bandwidth 10MHz

Nilai CAPEX berdasarkan jumlah perangkat dan harga perangkat yang sudah dijelaskan pada table diatas, dimana nilai CAPEX untuk eNodeB akan timbul tiap tahun nya karena adanya penambahan eNodeB setiap tahun. Gambar grafik 12 dan 13 merupakan proyeksi CAPEX 4G LTE dari tahun 2015 – 2019. Pada tahun pertama investasi awal untuk skenario I penggelaran LTE menggunakan frekuensi 900MHz mencapai angka Rp.80,124,876,153,- dan untuk skenario II menggunakan frekuensi 1800 MHz, CAPEX yang dibutuhkan Rp.66,154,778,991,- ,dikarenakan banyak nya network elemen CAPEX yang di investasikan. Sedangkan tahun-tahun berikutnya nilai CAPEX turun karena investasi hanya berkisar pada penambahan eNodeB dan *software licence*.

4.3.2.2 *Operational Expenditure* (OPEX)

Asumsi OPEX memperkirakan biaya operasional biaya back-office keseluruhan operator dalam menggelar jaringan 4G LTE. Biaya OPEX dalam penelitian ini terdiri dari biaya karyawan technical support (SDM), operasional dan maintenance, biaya promosi dan marketing, umum dan administrasi.

Tabel 21 Asumsi OPEX SDM

| OPEX   | Jumlah | Biaya         | Keterangan                   |
|--|--------|---------------|------------------------------|
| Sekretaris   | 1      | Rp.4.500.000  | /bulan                       |
| Tenaga Kerja Administrasi                          | 1      | Rp.4.500.000  | /bulan                       |
| Tenaga kerja Outsourcing Operation dan maintenance | 5      | Rp.4.500.000  | /bulan/1 OS handle 250BTS    |
| Staff Teknikal                                     | 3      | Rp.10.000.000 | /bulan/1 staff handle 500BTS |
| Manager  | 1      | Rp.15.000.000 | /bulan                       |
| Dept Head  | 1      | Rp.20.000.000 | /bulan                       |
| Division head                                      | 1      | Rp.25.000.000 | /bulan                       |

a. Besarnya *Operational Expenditure* (OPEX) untuk skenario I

Tabel. 22 Estimasi OPEX LTE Untuk Bandwidth 5MHz/Frek 900 MHz

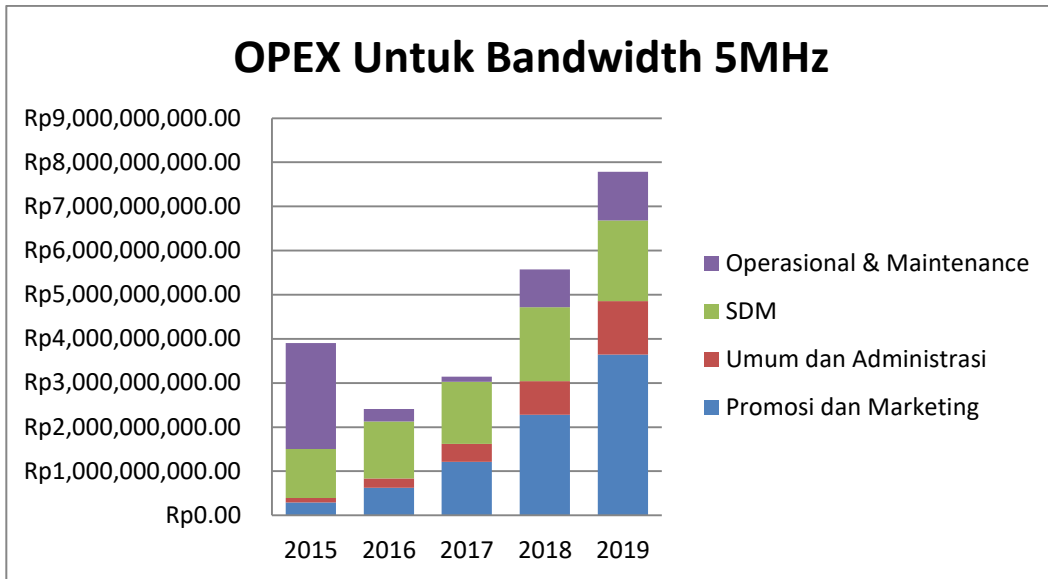
| Tahun                       | 2015                   | 2016                   | 2017                   | 2018                   | 2019                   |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Promosi dan Marketing       | Rp293.199.243          | Rp628.179.842          | Rp1.213.235.804        | Rp2.279.490.253        | Rp3.641.127.921        |
| Umum dan Administrasi       | Rp97.733.081           | Rp209.393.280          | Rp404.411.934          | Rp759.830.084          | Rp1.213.709.307        |
| SDM                         | Rp1.110.000.000        | Rp1.289.778.000        | Rp1.411.837.556        | Rp1.681.074.978        | Rp1.828.063.193        |
| Operasional dan Maintenance | Rp2.403.746.284        | Rp285.526.038          | Rp116.966.420          | Rp852.635.694          | Rp1.106.049.559        |
| <b>Total OPEX</b>           | <b>Rp3.904.678.609</b> | <b>Rp2.412.877.160</b> | <b>Rp3.146.451.716</b> | <b>Rp5.573.031.011</b> | <b>Rp7.788.949.982</b> |

b. Besarnya *Operational Expenditure* (OPEX) untuk skenario II

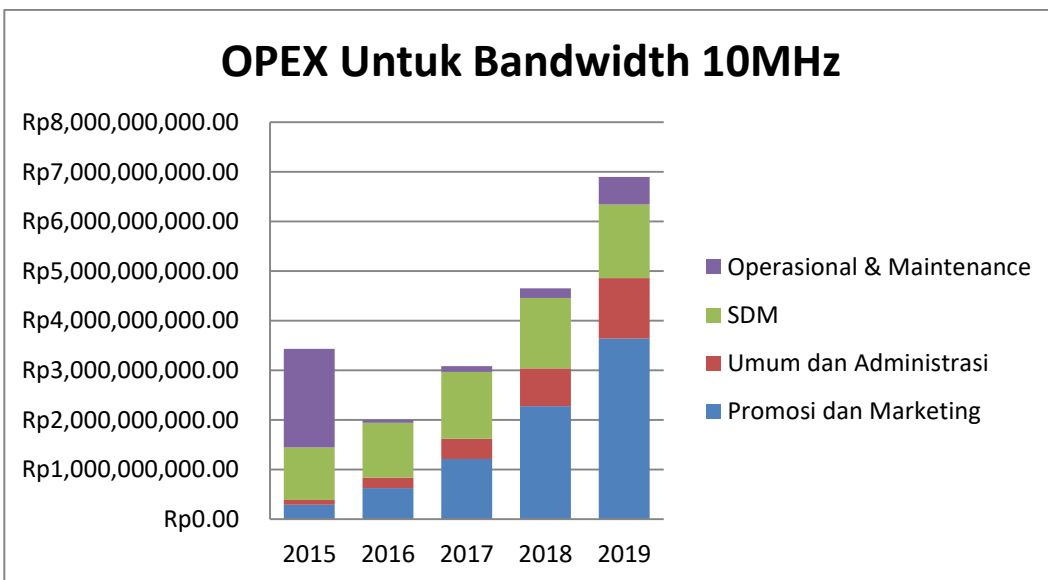
Tabel 22 Estimasi OPEX LTE Untuk Bandwidth 10MHz/Frek 1800 MHz

| Tahun                       | 2015                   | 2016                   | 2017                   | 2018                   | 2019                   |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Promosi dan Marketing       | Rp293.199.243          | Rp628.179.842          | Rp1.213.235.804        | Rp2.279.490.253        | Rp3.641.127.921        |
| Umum dan Administrasi       | Rp97.733.081           | Rp209.393.280          | Rp404.411.934          | Rp759.830.084          | Rp1.213.709.307        |
| SDM                         | Rp1.056.000.000        | Rp.1.107.321.600       | Rp1.352.461.210        | Rp1.418.190.825        | Rp1.487.114.899        |
| Operasional dan Maintenance | Rp1.984.643.369        | Rp54.540.790           | Rp111.952.148          | Rp195.198.617          | Rp553.369.767          |
| <b>Total OPEX</b>           | <b>Rp3.431.575.694</b> | <b>Rp1.999.435.513</b> | <b>Rp3.082.061.098</b> | <b>Rp4.652.709.781</b> | <b>Rp6.895.321.896</b> |





Gambar 14 Grafik asumsi biaya operasional selama 5 tahun untuk *bandwidth* 5 MHz



Gambar 15 Grafik Asumsi Biaya Operasional selama 5 tahun untuk *bandwidth* 10MHz

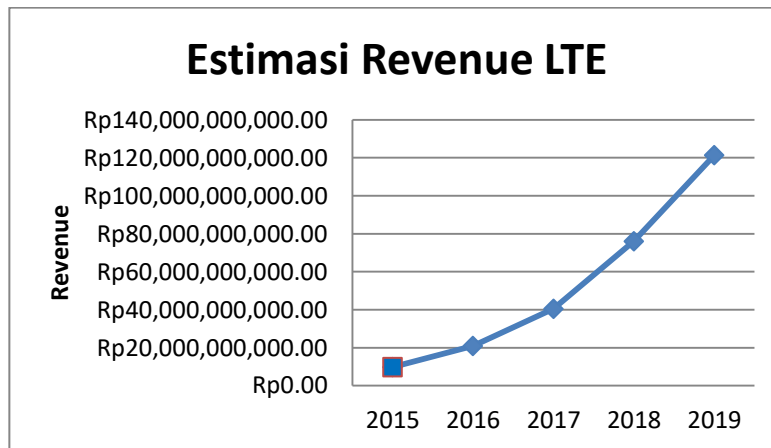
#### 4.3.2.3 Revenue

*Revenue* yang diperoleh berdasarkan ARPU (Average *Revenue* Per User), dengan asumsi tarif data adalah flat untuk setiap jenis layanan yang disediakan. Berdasarkan nilai ARPU dikalikan dengan jumlah pelanggan yang menggunakan layanan tersebut tiap tahun nya maka diperoleh nilai total *revenue* yang dapat diperoleh oleh operator Indosat Ooredoo dalam periodik per tahun. Pada tabel 23 berikut merupakan analisa perhitungan *revenue* yg dihasilkan dengan jaringan LTE yang telah dibangunnya.

Tabel 23 Estimasi Revenue LTE

| Tahun | Prediksi Jumlah Pelanggan LTE (dense urban) | Prediksi ARPU | Revenue              |
|-------|---|---------------|----------------------|
| 2015  | 375.247                                     | Rp26.045      | Rp9.773.308.115.00   |
| 2016  | 820.378                                     | Rp25.524      | Rp20.939.328.072.00  |
| 2017  | 1.616.807                                   | Rp25.013      | Rp40.441.193.491.00  |
| 2018  | 3.099.829                                   | Rp24.512      | Rp75.983.008.448.00  |
| 2019  | 5.052.701                                   | Rp24.021      | Rp121.370.930.721.00 |

Revenue yang diperoleh per tahun ditunjukkan pada gambar 16, terlihat bahwa pendapatan dari tahun ke tahun mengalami peningkatan meskipun tidak ada kenaikan ARPU per tahun terhadap inflasi. Hal ini disebabkan prediksi jumlah pelanggan LTE mengalami peningkatan.



Gambar 16 Grafik Prediksi Revenue LTE

#### 4.3.2.4 Biaya penyusutan

Biaya penyusutan dihitung berdasarkan masa pakai (*life time*) perangkat telekomunikasi. Untuk *software*, masa pakainya dihitung selama dua tahun dan untuk hardware masa pakainya dihitung selama 10 tahun. Masa pakai ini mengacu pada ketetapan perusahaan sebagaimana yang dituangkan juga dalam Laporan Tahunan perusahaan. Biaya penyusutan dihitung dari nilai investasi yang dibutuhkan dibagi dengan masa pakai perangkat. Biaya penyusutan tersebut akan muncul setiap tahun sepanjang masa pakai perangkat. Berikut adalah rumus untuk menghitung biaya penyusutan:

$$\text{Biaya Penyusutan} = \frac{\text{Nilai Investasi}}{\text{Masa Pakai}} \quad (18)$$

Dari persamaan (18) di atas, maka didapatkan biaya penyusutan periode 2015-2019 seperti ditabulasikan pada Tabel 24.

Tabel 24. Biaya Penyusutan Periode 2015-2019

| Tahun | Nilai Penyusutan (IDR)          |                                   |
|-------|---------------------------------|-----------------------------------|
|       | Bandwidth 5MHz<br>(Frek 900MHz) | Bandwidth 10MHz<br>(Frek 1800MHz) |
| 2015  | 0                               | 0                                 |
| 2016  | 6,861,550,515                   | 5,675,448,295                     |
| 2017  | 7,174,021,487                   | 6,054,899,185                     |
| 2018  | 9,907,338,063                   | 6,912,778,060                     |
| 2019  | 13,453,982,214                  | 8,564,847,390                     |

#### 4.3.3 Perhitungan Ekonomi

NPV merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor. Apabila  $NPV > 0$  maka proyek layak,  $NPV = 0$  berarti perusahaan tidak mengalami keuntungan maupun kerugian  $NPV < 0$  maka proyek tidak layak.

IRR merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek layak apabila laju pengembaliannya (rate of return) lebih besar dari laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana, dan lain-lain). Dalam penelitian ini diasumsikan besarnya bunga investasi ditempat lain = 7.5% (suku bunga pinjaman per 10 November 2015 di BI).

Dalam perhitungan ekonomi pada penelitian ini digunakan parameter sebagai berikut:

Tabel 25 Parameter Ekonomi

| Parameter | Nilai          |
|-----------|----------------|
| Kurs      | IDR. 13.131/\$ |
| MARR      | 10,5%          |
| Periode   | 5 tahun        |
| Pajak     | 20%            |

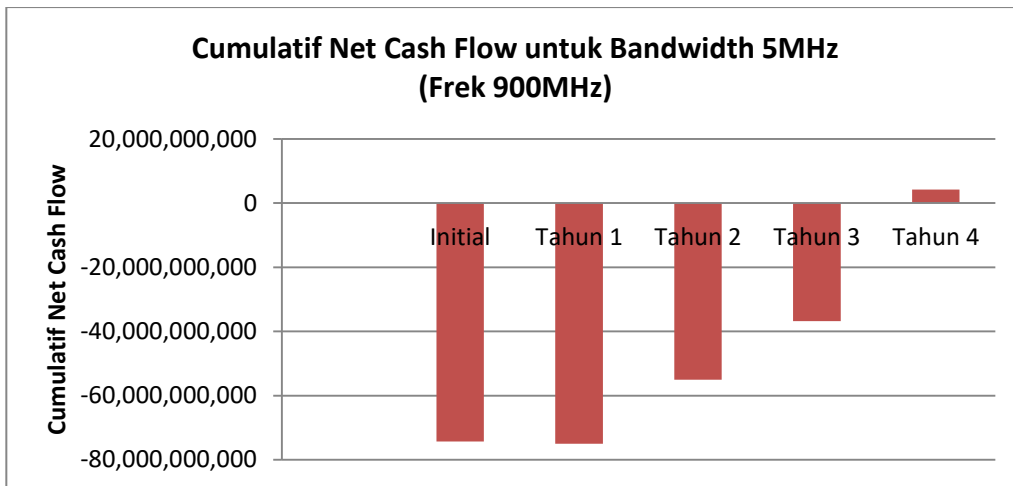
Dari parameter diatas digunakan nilai MARR sebesar 10,5% dengan asumsi bahwa margin akibat faktor resiko sebesar 3% ditambah dengan suku bunga bank 7,5% sehingga nilai MARR adalah 10,5%. Sedangkan parameter pajak yang digunakan adalah sebesar 20%, didasarkan pada Pasak 26 ayat (2) UU PPh Tahun 2008 tentang Pajak Penghasilan Badan Usaha Tetap (BUT). Berikut adalah hasil analisis kelayakan tekno ekonomi :

Tabel 26. Analisis Kelayakan Ekonomi NPV, IRR dan PBP masing-masing scenario

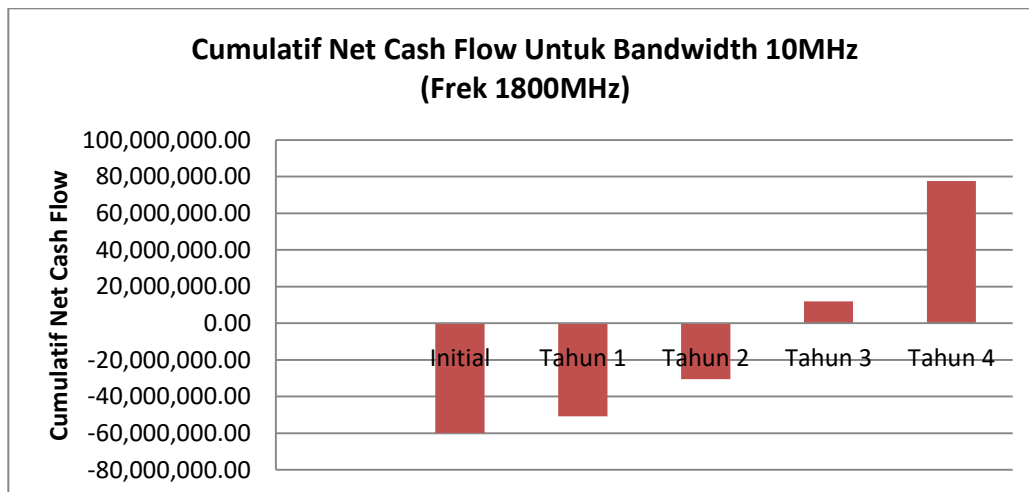
| Skenario  | NPV               | IRR   | PBP                | Summary     |
|---|-------------------|-------|--------------------|-------------|
| Skenario I bandwidth 5 MHz dengan Fekkuensi 900 MHz | Rp 61.075.272.890 | 1.71% | 4 Tahun<br>1 Bulan | Tidak Layak |

|  |                   |        |                 |       |
|--|-------------------|--------|-----------------|-------|
| Skenario I bandwidth 10 MHz dengan Fekuensi 1800 MHz | Rp107.749.194.676 | 31.07% | 3 Tahun 6 Bulan | Layak |
|--|-------------------|--------|-----------------|-------|

Berdasarkan table 26 diatas hasil penelitian diperoleh bahwa proyek untuk skenario II layak untuk diimplementasikan, sedangkan proyek dengan skenario I tidak layak hal tersebut dikarenakan IRR skenario I sebesar 1.71% dimana lebih kecil dari suku bunga investasi. Dari tabel tersebut terlihat bahwa proyek akan memperoleh keuntungan apabila bandwidth yang digunakan sebesar 10 MHz, Berikut gambar 17 merupakan cumulative cash flow tahunan skenario I untuk implementasi LTE di 5 MHz pada frekwensi 900MHz dan gambar 18 untuk skenario II untuk implementasi LTE di 10 MHz pada frekwensi 1800MHz.



Gambar 17 Grafik *Cumulative Net Cash Flow* untuk 5MHz pada Frekwensi 900MHz



Gambar 18 Grafik *Cumulative Net Cash Flow* untuk 10MHz pada Frekwensi 1800MHz

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis ekonomi *discounted cash flow*, dihasilkan kesimpulan untuk frekuensi 900MHz dengan bandwidth 5MHz diperoleh nilai NPV positif sebesar Rp 61.075.272.890, namun IRR hanya sebesar 1,71%, dengan nilai Pay

Back Period 4 Tahun 1 Bulan, dengan IRR dibawah dari nilai suku bunga perbankan maka skenario investasi I tersebut dinilai Tidak Layak. Sedangkan untuk frekuensi 1800MHz dengan bandwidth 10MHz diperoleh nilai NPV positif sebesar Rp107.749.194.676 dan IRR sebesar 31.07%, dengan nilai Pay Back Period 3 Tahun 6 Bulan. Sehingga dapat disimpulkan skenario investasi II ini layak diimplementasikan.

## **5.2 Saran**

1. Diperlukan pembahasan lebih jauh mengenai arsitektur dan dimensioning jaringan di sisi transmisi dan di sisi core network, mengingat pada penelitian ini hanya dibahas pada sisi perangkat RAN saja.
2. Untuk riset lebih lanjut disarankan mengambil teknologi 5G sebagai topik penelitian, sebagai teknologi seluler masa yang akan datang.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Grønsund, Pal, Ole Grøndalen, Markku Lahteenoja. (2012). *Business case evaluations for LTE network offloading with cognitive femtocells*, Oslo: University of Oslo. Elsevier: Telecommunications Policy 37 (2013) 140–153
2. Nikolikj, V., & Janevski, T. (2014). A Cost Modeling of High-capacity LTE-advanced and IEEE 802.11ac based Heterogeneous Networks, Deployed in the 700MHz, 2.6GHz and 5GHz Bands. *Procedia Computer Science*, 40, 49–56. doi:10.1016/j.procs.2014.10.030
3. Rendon, Juan, Juan P. Alanis, Federico Kuhlmann (2007). *A Business Case for the Deployment of a 4G Wireless Heterogeneous Network in Spain*. Instituto Tecnológico Autónomo de México. Annual Review of Communications, Vol.61.
4. Syed, Abdul Basit (2009). *Dimensioning of LTE Network Description of Model and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution Radio Interface*. Helsinki: University of Technology.
5. Thompson Jr, Herbert G, Christopher Garbacz. (2011). *Economic impacts of mobile versus fixed broadband*, McClure School of Information and Telecommunication Systems, Athens: Ohio University. Elsevier: Telecommunications Policy 35 (2011) 999–1009
6. Greenstein, Shane, Ryan C. McDevitt (2011), *The broadband bonus: Estimating broadband Internet's economic value*, Kellogg School of Management, Northwestern University, Elsevier: Telecommunications Policy 35 (2011) 617–632.
7. Aderemi A. Atayero, Matthew K. Luka, Martha K. Orya, Juliet O. Iruemi. (2011). *3GPP Long Term Evolution: Architecture, Protocols and Interfaces*. International Journal of Information and Communication Technology Research. Volume 1 No. 7, November 2011.
8. Jasvinder Singh Sadana & Neelima Selam. (2011). *Baseband Analysis of Long Term Evolution Systems*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). Vol.1, Issue.2, pp-500-509.
9. Hola, Harri; Toskala, Antti. (2010). *LTE for UMTS–OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. Finland: John Wiley & Sons, Ltd
10. Hola, Harri; Toskala, Antti. (2012). *LTE-Advanced 3GPP Solution For IMT-Advanced*. Finland: John Wiley & Sons, Ltd
11. Molisch, Andreas F. (2011), 7.6.1 Appendix 7.A : *The Okumura – Hata Model In Wireless Communications, Second Edition*. *Wireless Communications, Second Edition*. John Wiley & Sons, Ltd.
12. Hoikkanen, Anssi. (2007). *Economics of 3G Long-Term Evolution: The Business Case for The Mobile Operator*. Nokia Siemens Network.
13. Nikolikj, V., & Janevski, T. (2014). A Cost Modeling of High-capacity LTE-advanced and IEEE 802.11ac based Heterogeneous Networks, Deployed in the 700MHz, 2.6GHz and 5GHz Bands. *Procedia Computer Science*, 40, 49–56. doi:10.1016/j.procs.2014.10.030
14. Elngard, Nils Kristian; Stordahl, Kjell; Lydersen, Jorgen; dan Eskedal, Thor, Gunnar. *Mobile Broadband Evolution and the Possibilities*. *Elektronikk* (2008): 63-73.

15. Smura, Timo. (2006). *Deliverable 16: Final Techno-Economic Result on Mobile Service and Technologies Beyond 3G*. The CELTIC Initiative:ECOSYS.
16. Elngard, Nils Kristian; Stordahl, Kjell; Lydersen, Jorgen; dan Eskedal, Thor, Gunnar.(2008). *Mobile Broadband Evolution and the Possibilities*. Telektronikk: 63-73.
17. Skold, Johan, Erick Dahlman, Stefan Parkvall, Per Bening. (2007). *3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Oxford. UK.
18. J. Scott Marcus, John Burns, Val Jervis, Reinhard Wahlen, Kenneth R. Carter, Imme Philbeck, P. D. P. V. (2010). *PPDR Spectrum Harmonisation in Germany, Europe and Globally*.
19. Mugdha Rathore, Nipun Kumar Mishra & Vinay Jain. (2012). *Dynamic Spectrum Sharing In Wireless Communication*. International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies. ISSN: 2231 – 6604 Volume 2, Issue 1, pp: 8-15.
20. Wolf, Scharnhorst. (2006). *Life Cycle Assessment of 2G and 3G mobile phone Network*. Elsevier. USA.
21. Zach,Lovell. (2009). *LTE/SAE Technology Overview & Challenges*. Agilent Technologies.
22. Smura, Timo. (2004). *Thesis : Techno-Economic Analysis of IEEE 802.16a-Based Fixed Wireless Access Networks*. Helsinki University of Technology.
23. Prabhat Man Sainju. (2012). *LTE Performance Analysis On 800 and 1800 MHz Bands*. Master of thesis, Tampere University of Technology.
24. Perdana, Doan., Muayyadi A. A, Mufti N., Chumaidiyah E. (2012). *Optimasi Kapasitas Jaringan 2G, 3G, dan LTE dengan Teknik Joint Base Station*, *Jurnal Emitor*, Vol. 12 No.01, ISSN : 14118890.
25. Saputra, Riza. (2009). *Kajian Tekno-Ekonomi Penggelaran Teknologi Long Term Evolution (LTE) di Kota Bandung*. Thesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
26. Ariprawira, Galih (2011). *Analisis Tekno-Ekonomi Perencanaan Alokasi Frekuensi LTE*. Thesis. Bandung: IT Telkom Bandung.
27. Hendartono, Satrio. (2012). *Strategi Alternatif Implementasi Long Term Evolution (LTE) Dengan Keterbatasan Pita Frekuensi 2100 MHz*. Thesis. Jakarta: Fakultas Tehnik Universitas Indonesia.
28. Teten Dian Hakim.(2013). *Strategi Alternatif Pengelolaan Spektrum & Penataan Alokasi Pita Frekuensi 1800 MHz Untuk Penerapan Tekonologi Long Term Evolution (LTE)*. Thesis. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Mercubuana.
29. Usmiati. (2014). *Analisis Biaya Pembangunan dan Dimensioning Jaringan Layanan Broadband Berbasis Long Term Evolution (LTE) area Jakarta Barat*. Thesis: Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Mercubuana.
30. Victor, Ramos. (2014). *Analisis Tekno Ekonomi Implementasi LTE Pada Frekuensi 2100 MHz di Wilayah Bali*. Thesis. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Mercubuana.
31. Adila, Clara. (2013). *Analysis Techno Economy of Development Planning EVDO Rev. Jurnal. B Network on Telkom Flexi Divre III West Java Area*. Institut Teknologi Bandung. Volume 101, Page 50.

32. Susrianti, Veny (2008). *Analisa Kelayakan Implementasi AMR Pada Teknologi 2G Untuk Optimalisasi Biaya (Studi Kasus: PT.Indosat)*. Thesis. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
33. Ryansyah, Deris (2010). *Analisa Kelayakan Migrasi BTS 3G Berbasis WCDMA Menuju Jaringan LTE di DKI Jakarta*. Thesis. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
34. Prasetyo, Anang (2011). *Techno-Economic Analysis of LTE Release8 Implementation with Using Capacity and Coverage Estimation Method and DCF Methode in Jabodetabek Area*. Thesis. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
35. Lesmana, Ari. (2010). *Analisa Tekno-Ekonomi IEEE 802.16e Sebagai Jaringan Wireless Akses Broadband*. Thesis. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
36. Taufiq Hidayat, Usep. (2013). *Analisa Perbandingan dan Perancangan dan Kelayakan Implementasi Jaringan LTE dan WIMAX di area Urban, Sub Urban dan Rural dengan Pendekatan Techno Economy*. Jurnal. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
37. Hamzah Hilal. (2011). *Metodologi Penelitian Telekomunikasi*. Presented at Program Pasca Sarjana, University of Mercu Buana. Jakarta
38. BPS. (2015). *Jakarta Dalam Angka 2014*. [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id)
39. Indosat. (2012). Annual Report Indosat 2012. [www.indosatooredoo.com](http://www.indosatooredoo.com)
40. Indosat. (2013). Annual Report Indosat 2013. [www.indosatooredoo.com](http://www.indosatooredoo.com)
41. Indosat. (2014). Annual Report Indosat 2014. [www.indosatooredoo.com](http://www.indosatooredoo.com)
42. Indosat. (2015). Annual Report Indosat 2015. [www.indosatooredoo.com](http://www.indosatooredoo.com)
43. Huawei. (2010). *LTE Radio Network Planning Introduction*. Huawei Technologies, co.Ltd.