

Analisis Tekno Ekonomi Biaya Capex dan Opex Implementasi Jaringan Long Term Evolution Area Banten

Totok Yuwanto

Indosat Jakarta
totok.yuwanto@yahoo.com

Abstrak

Dengan semakin pesatnya pertumbuhan dan kebutuhan penggunaan data maka diperlukan suatu jaringan telekomunikasi yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut yaitu dalam hal kapasitas, kualitas, mobilitas dan kecepatan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka perusahaan operator telekomunikasi dituntut untuk menggelar jaringan telekomunikasi yang mempunyai kapasitas besar, kecepatan tinggi, handal dan mempunyai kualitas yang bisa memenuhi kebutuhan tsb . Salah satu teknologi seluler terbaru yang bisa memenuhi kebutuhan tsb adalah teknologi LTE. Pada penelitian ini dianalisa secara teknologi dan ekonomi terhadap implementasi LTE *release* 8 pada jaringan operator *existing* dengan menggunakan skenario join base station. Model analisa yang digunakan berdasarkan prinsip tekno ekonomi dengan menggunakan metoda *capacity planning and coverage estimation* untuk menentukan perancangan teknologi LTE serta metoda DCF untuk menganalisa secara ekonomi dan juga mengukur kelayakan biaya yang dikeluarkan untuk implementasi LTE tersebut. Hasil penelitian diperoleh nilai NPV positif dan IRR sebesar 12.95% , dengan nilai *Pay Back Period* 3 Tahun 1 Bulan. Berdasarkan hasil tsb dapat disimpulkan bahwa implementasi jaringan berbasis *Long Term Evolution* (LTE) di propinsi Banten layak untuk di implementasikan.

Kata Kunci: LTE, tekno-ekonomi, *coverage planning*, *capacity estimation*, DCF

Abstract

With the rapid growth and the need for data usage, we need a telecommunication network that can fulfill the requirement that is in terms of capacity, quality, mobility and speed. To meet these needs, telecommunication operators are required to deploy telecommunication networks that have large capacity, high speed, reliable and have quality that can meet these needs. One of the latest mobile technologies that can meet these needs is LTE technology. In this study analyzed technologically and economically to the implementation of LTE release 8 on existing operator network by using base station join scenario. The analysis model used is based on economic techno principle by using the capacity planning and coverage estimation method to determine the design of LTE technology and DCF method to analyze economically and

also to measure the feasibility of cost incurred for the implementation of LTE. The results obtained by the value of positive NPV and IRR of 12.95%, with Payback Period 3 Year 1 Month. Based on the results they can be concluded that the implementation of Long Term Evolution-based network (LTE) in Banten province is feasible to implement.

Keywords: LTE, techno-economic, coverage planning, capacity estimation, DCF

Received April 2017

Accepted for Publication May 2017

DOI: 10.22441/incomtech.v8i1.2142

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin pesatnya pertumbuhan dan kebutuhan penggunaan data maka diperlukan jaringan telekomunikasi yang mampu memenuhi kebutuhan tsb dalam hal kapasitas, kecepatan, mobilitas dan kualitas. Untuk memenuhi kebutuhan tsb maka perusahaan operator telekomunikasi dituntut untuk menggelar jaringan telekomunikasi yang mempunyai kapasitas besar, kecepatan tinggi, handal dan mempunyai kualitas yang bisa memenuhi kebutuhan tsb. Salah satu teknologi seluler yang baru diimplementasikan yang bisa memenuhi kebutuhan tsb adalah teknologi 4G. Salah satu keunggulan dari teknologi 4G ini adalah mobilitas dan kecepatannya bisa sampai dengan 200 Mbps downlink dan 20 Mbps uplink..

Dalam melakukan implementasi jaringan telekomunikasi 4G tsb diperlukan suatu biaya investasi untuk implementasi perangkat yaitu Capex serta biaya operasional (Opex). Besar biaya investasi perangkat serta operasional pengelolaan jaringan telekomunikasi seluler lebih besar dibandingkan dengan revenue yang akan didapatkan. Untuk menyikapi permasalahan ini, maka diperlukan efisiensi dalam penggunaan opex dan capex serta diperlukan implemetasi tambahan investasi pada system yang sudah ada berupa penambahan perangkat, penambahan site baru ataupun penambahan system baru yang bisa mempertahankan atau menambah *revenue* dengan tambahan biaya Capex/Opex yang tidak besar. Hal ini dilakukan untuk menyikapi dari trend pertumbuhan *revenue* (ARPU) di dunia telekomunikasi yang semakin menurun..

Untuk merencanakan pengimplementasian suatu teknik baru diperlukan suatu pertimbangan dalam aspek teknik juga dalam aspek ekonomi. Salah satu jalan untuk mempertimbangkan implementasi teknik baru adalah dengan mengikuti kerangka acuan analisis tekno ekonomi yang menyertakan pertimbangan teknik serta ekonomi. Dalam tekno ekonomi akan dilakukan analisa mengenai prediksi pasar, perancangan teknik baru dan ekonomi.

2. LONG TERM EVOLUTION (LTE)

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.

Teknologi LTE dapat memenuhi persyaratan sebagai teknologi 4G bahkan lebih. Dimana persyaratan tersebut sebagai berikut [1]:

- *Bit Rate* mencapai 100 Mbps untuk *downlink* & 50 Mbps untuk *uplink*, sedangkan LTE mampu mencapai 300Mbps untuk *downlink* & 75 Mbps untuk *uplink*.
- *Round Trip Time (RTT)* 10 ms, sedangkan LTE membutuhkan 5 ms untuk satu arah antara terminal dan *base station*.
- Bandwidth fleksibel mendukung untuk : 20 MHz, 15 MHz, 10 MHz, 5 MHz, dan 1.25 MHz. Dengan demikian operator jaringan dapat memilih bandwidth yang berbeda dan memberikan layanan yang berbeda berdasarkan spektrum.
- Mendukung mode *frequency division duplex (FDD)* dan *time division duplex (TDD)*.

2.1 LTE Capacity Planning[5]

Perencanaan kapasitas bertujuan untuk menentukan jumlah sel yang dibutuhkan berdasarkan kebutuhan trafik di daerah tertentu. Perencanaan kapasitas suatu site dilakukan untuk mendapatkan rata rata throughput sel. Langkah-langkah untuk mendesain jaringan berbasis kapasitas sbb:

2.1.1 Menghitung prediksi jumlah pelanggan

Jaringan yang dirancang harus dapat memenuhi trafik saat ini dan pertumbuhan trafik beberapa tahun ke depan. Untuk menghitung prediksi jumlah pelanggan, terlebih dahulu dihitung perkiraan jumlah penduduk. Perkiraan jumlah penduduk dihitung dengan menggunakan persamaan sbb

$$P_n = P_o(1 + GF)^n \quad (1)$$

dimana

P_o = Jumlah penduduk awal

P_n = jumlah penduduk untuk tahun ke n

GF = faktor pertumbuhan

Jumlah target pengguna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sbb

$$\Sigma TU = P_n \times A \times B \times C \quad (2)$$

dimana

ΣTU = Jumlah total target pengguna

P_n = jumlah penduduk untuk tahun ke n

A = Penduduk usia produktif

B = Market Share Operator

C = Target pengguna jaringan LTE

2.1.2 Menghitung throughput setiap layanan.

Dalam penggunaan data LTE, ada berbagai layanan seperti VoIP, video conference, chatting, dll dengan masing-masing service memiliki karakteristik throughput tersendiri. Throughput untuk setiap layanan dapat diperoleh dari persamaan berikut ini

$$\text{Throughput} = ST \times SDR \times \text{Bearer Rate} \times \left[\frac{1}{(1 - BLER)} \right] \quad (3)$$

dimana

Tmin = Throughput minimum harus disediakan oleh jaringan untuk menjaga kualitas layanan (Kbit)

ST = Durasi rata-rata setiap layanan

SDR = Session Duty Ratio, Rasio data yang ditransmisikan untuk setiap sesi

BR = Bearer Rate, data rate harus disediakan *service application layer* (Kbps)

BLER = Rata rata Block error rate yang diijinkan dalam satu sesi

2.1.3 Menghitung Single User Throughput (SUT) dan Network Throughput

Nilai Single User Throughput (SUT) dilihat dari sudut pandang pengguna LTE, merupakan kebiasaan *users* yang sangat beragam dalam menggunakan layanan LTE. Single User Throughput dihitung pada kondisi jam sibuk. Adapun persamaan yang digunakan adalah:

$$SUT = \frac{\sum (\text{Throughput} \times BHSA \times PR) \times (1 + PAR)}{3600} \quad (4)$$

Dimana :

SUT = Single User Throughput (kbps)

BHSA = Busy Hour Service Attempt

PR = Penetration Rate, Tingkat Penetrasi penggunaan layanan di daerah tsb

PAR = Peak to Average Ratio, Persentase lonjakan lalu lintas pada jam sibuk

3600 = time frame 1 jam (3600 seconds)

Network Throughput merupakan jumlah kebutuhan trafik dari pengguna secara keseluruhan di area yang ditentukan, dihitung dengan persamaan berikut::

$$NT = \sum TU \times SUT \quad (5)$$

Dimana

NT = Network Throughput

$\sum TU$ = Total target user

SUT = Single User Target

2.1.4. Menentukan jumlah sel dan Cell Dimensioning

Kapasitas masing-masing sel tergantung dari bandwidth yang digunakan. Kapasitas tsb meliputi arah uplink dan downlink dan ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$DL.cap + CRC = (168 - 36 - 12) \times (C_b) \times (C_r) \times N_{rb} \times C \times 1000 \quad (6)$$

$$UL.cap + CRC = (168 - 24 - 12) \times (C_b) \times (C_r) \times N_{rb} \times C \times 1000 \quad (7)$$

Dimana

CRC = 24,

C_b (Code bits) = Modulation Efficiency,

C_d (Code rate) = Channel coding rate,

N_{rb} = Jumlah resource block,

C = mode MIMO.

Cell Dimensioning bertujuan menentukan jumlah sel yang dibutuhkan untuk menampung trafik di area tsb. Perencanaan kapasitas berdasarkan perhitungan jumlah sel dari persamaan berikut:

$$\text{Number of Cell} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Cell Capacity}} \quad (8)$$

2.2 Perencanaan Cakupan Jaringan LTE

Faktor utama dalam menentukan perencanaan berdasarkan 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.

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.

Persamaan berikut merupakan persamaan dasar dalam melakukan perhitungan Radio Link Budget seperti persamaan 9 dibawah ini

$$\text{PathLoss(dB)} = \text{TxPower(dB)} + \text{TxGain(dB)} - \text{TxLoses(dB)} - \text{RequiredSINR(dB)} + \text{RxGain(dB)} - \text{RxLoses(dB)} - \text{RxNoises(Db)} \tag{9}$$

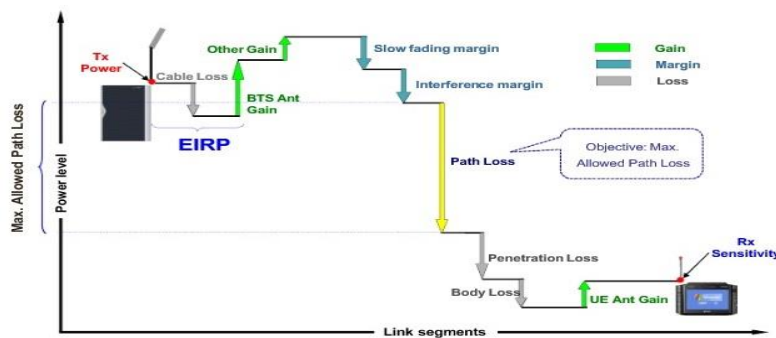
Dimana:

- PathLoss = total rugi lintasan antara pemancar dan penerima
- TxPower = daya yang dipancarkan oleh antenna pemancar
- TxGain = penguatan antenna pemancar
- TxLoses = rugi-rugi pemancar
- RequiredSINR = SINR minimum dari sinyal agar dapat ditangkap oleh penerima dengan kualitas atau kuat sinyal tertentu
- RxGain = penguatan di antenna penerima
- RxLoses = rugi-rugi di penerima
- RxNoise = noise di penerima

Link budget 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 1 untuk Downlink dan gambar 2 untuk Uplink.

Besarnya Down Load (DL) link budget dinyatakan dalam persamaan 10 berikut:

$$\begin{aligned} (DL) \text{ link budget} = & [(DL \text{ Tx power}) + (DL \text{ Tx Antena Gain}) + (Other \text{ DL Tx Gain}) + (DL \text{ RX Antena Gain}) + (Other \text{ DL RX Gain}) + (Urban \text{ Correction}) - \\ & (Thermal \text{ Noise}) - ((RX \text{ SNR}) - (DL \text{ RX Noise Figure}) - (Implementation \text{ Loss}) - \\ & (Interference \text{ Margin}) - (Fade \text{ Margin})] \end{aligned} \tag{10}$$

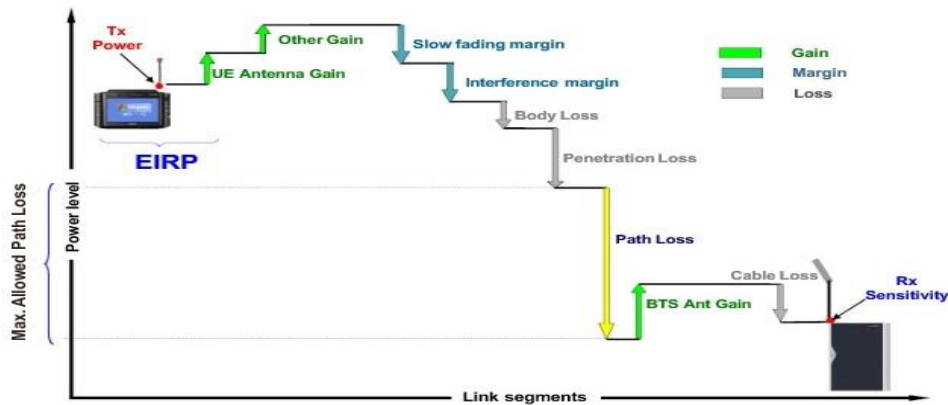


Gambar 1 Proses Link Budget downlink

Sedangkan besarnya Up Load (UL) link budget dihitung dengan persamaan sbb:

$$(UL) \text{ link budget} = [(UL \text{ Tx power}) + (UL \text{ Tx Antena Gain}) + (Other \text{ D Tx Gain}) + (UL \text{ RX Antena Gain}) + (Other \text{ UL RX Gain}) + (Urban \text{ Correction}) + (UL$$

Subchanelling Gain) - (*Thermal Noise*) - (*RX SNR*) – (*UL RX Noise* *Figure*)
 – (*Implementation Loss*) – (*Interfarance Margin*) – (*Fade Margin*) (11)



Gambar 2 Proses Link Budget arah Uplink

2.2.2. Path Loss Model

Perhitungan *Link Budget* diperlukan untuk menentukan besar redaman maksimum dari propagasi gelombang radio yang masih diijinkan agar eNode B dan UE masih dapat berkomunikasi dengan baik pada daerah cakupan atau disebut juga dengan *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL).

MAPL dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$MAPL = EIRP - \text{minimum signal strength required} + \text{gain} - \text{loss} - \text{margin} \quad (12)$$

$$EIRP = \text{Max Tx power} - \text{cable loss} - \text{body loss} + \text{antenna gain} \quad (13)$$

$$MSSR = \text{Rx sensitivity} - \text{Antenna gain} + \text{Cable loss} + \text{body loss} + \text{interference margin} \quad (14)$$

Setelah diketahui redaman maksimum atau MAPLnya, maka dapat ditentukan jari-jari sel dengan menggunakan persamaan model propagasi Cost-231 Hatta .

Adapun parameter untuk model ini adalah :

- 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

Persamaan dari model COST-231 – Hatta sebagai berikut:

$$L_p \text{ (dB)} = A + B \log_{10} (d) + C \quad (15)$$

dimana

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

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

Nilai dari $a(h_m)$ adalah:

Untuk area Dense Urban dan Urban sebagai berikut

$$a (h_{MS}) = 3.2[\log_{10}(11.75h_{MS})]^2 - 4.97$$

Sedangkan untuk area Sub Urban sebagai berikut

$$a (h_{MS}) = [1.1 \log_{10}(f) - 0.7]h_{MS} - [1.56 \log_{10}(f) - 0.8]$$

Sedangkan nilai C sebagai berikut

$CM = 0 \text{ dB}$, *Rural & suburban* & $CM = 3 \text{ dB}$, *Dense Urban & urban*

Luas sel dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S = K r^2 \quad (16)$$

Dengan $K = 1.95$ 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.

2.3 Teori Ekonomi

Pengambilan keputusan dari suatu investasi dalam dunia bisnis merupakan hal yang krusial, dan memerlukan pertimbangan melalui evaluasi berdasarkan ukuran-ukuran dan kriteria yang jelas. Kriteria yang digunakan untuk mengukur rencana investasi akan menggunakan metoda *Discounted Cash Flow* (DCF) terdiri dari :

1. *Net Present Value* (NPV)
2. *Internal Rate Return* (IRR)
3. *Payback Period* (PBP)

2.3.1 *Net Present Value* (NPV)

NPV digunakan untuk memberikan penilaian kepada pemasukan (*cash inflow*) dan pengeluaran (*cash outflow*) yang didasarkan pada nilai sekarang. Dari estimasi *cash flow* selama umur investasi dengan suku bunga tertentu, dapat dihitung nilai NPV dengan menggunakan rumus berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (17)$$

Dimana :

CF_t = aliran *cash* pertahun pada periode t

i = suku bunga

C_0 = investasi awal pada tahun ke-nol

n = jumlah tahun

t = tahun ke t

Kriteria kelayakan investasi berdasarkan nilai NPV adalah sebagai berikut :

1. $NPV > 0$ (positif); berarti proyek tersebut dapat menciptakan arus masuk kas dengan prosentase lebih besar dibanding biaya peluang modal yang ditanamkan.
2. $NPV = 0$; proyek kemungkinan dapat diterima karena arus masuk kas sama dengan peluang modal yang ditanamkan.
3. $NPV < 0$ (negatif); proyek tersebut tidak layak diimplementasikan.

2.3.2 *Internal Rate of Return* (IRR)

Metode IRR adalah salah satu metode untuk mengukur tingkat investasi. Nilai IRR dapat dihitung dengan mencari tingkat bunga (*discounted rate*) yang akan menghasilkan NPV sama dengan nol. IRR dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (18)$$

Dimana:

CF_t = aliran *cash* pertahun pada periode t

C_0 = investasi awal pada tahun ke-nol

n = jumlah tahun

t = tahun ke t

2.3.3 Pay Back Period (PBP)

PBP adalah suatu periode yang menunjukkan berapa lama modal yang ditanamkan dalam proyek tersebut dapat kembali. Dirumuskan sebagai berikut :

$$PBP = Co / C \quad (19)$$

Dimana :

PBP = *payback period*

Co = biaya investasi yang diperlukan

C = *annual cash flow*

3. PEMODELAN & PERENCANAAN IMPLEMENTASI JARINGAN LTE

Teknik analisa data dalam penelitian ini menggunakan analisa tekno-ekonomi. Analisa secara teknis yaitu perhitungan *dimensioning* untuk mengetahui jumlah eNode B yang diperlukan serta besar *throughput* yang didasarkan dari jenis layanan yang akan diberikan. Setelah diketahui hasil dari analisa teknik maka selanjutnya dilakukan analisa ekonomi yaitu *discounted cash flow analysis* untuk menentukan nilai NPV,IRR dan PBP sehingga diketahui kelayakan dari proyek ini.

3.1 Perencanaan Berdasarkan Kapasitas

Perencanaan berdasarkan kapasitas merupakan cara membuat estimasi kapasitas jaringan/sistem yang diperlukan agar mampu memenuhi *demand* trafik. Pada akhirnya diperoleh jumlah perangkat eNode B yang dibutuhkan untuk memenuhi *demand* trafik tersebut.

3.1.1 Parameter Perencanaan Kapasitas

Bagian ini menjelaskan parameter-parameter yang dipergunakan dalam proses perencanaan berdasarkan kapasitas. Parameter parameter yang diperlukan dalam perencanaan jaringan berdasarkan kapasitas ini adalah populasi penduduk di propinsi Banten dalam 5 tahun ke depan meliputi rata-rata pertumbuhan penduduk , populasi berdasarkan umur, target market share dari operator dan target penetrasi dari pengguna jaringan LTE yang ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1 Parameter menghitung estimasi jumlah pengguna

Parameter	Nilai	Keterangan
Jumlah penduduk	11,955,243	Tahun 2015
Jumlah penduduk Produktif	7,901,157	Tahun 2015
Pertumbuhan-rata-rata	2.14	Tahun 2015
Market Share	50%	Target Indosat
Target Coverage LTE	63%	Asumsi

Dalam perhitungan nilai *single user throughput* (SUT) diperlukan beberapa parameter yaitu *Rasio Peak to Average ratio* (PAR) [7] untuk berbagai type area , model traffic untuk Uplink dan Downlink, model rasio penetrasi berbagai type area seperti Dense Urban, Urban dan sub urban. Tabel 2 menggambarkan besar *peak to average ratio* dari beberapa type morphology .

Tabel 2 Peak to Average ratio [7]

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

Tabel 3 merupakan model trafik untuk Uplink dan Downlink yang menggambarkan kondisi berbagai type layanan LTE dipandang dari besar Bearer rate, besar session time , session duty ratio , BLER.

Tabel 3 Trafik model untuk Uplink dan Downlink [7]

Traffic Parameters	Uplink				Downlink			
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time(s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time(s)	PPP Session Duty Ratio	BLER
VoIP	26.9	80	0.4	1%	26.9	80	0.4	1%
Video Phone	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%
Video Conference	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%
Gaming	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%
Steaming Media	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%
Signalling	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%
Web Browsing	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%
File Transfer	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%
Email	140.69	50	1	1%	750.34	15	1	1%
P2P file sharing	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%

Tabel 4 merupakan model trafik kebiasaan pengguna layanan LTE terhadap rasio penetrasi di berbagai type area .

Tabel 4 Trafik Model Ratio Penetrasi beberapa type area[7]

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

Network Throughput merupakan total jumlah kebutuhan trafik dari pengguna secara keseluruhan di area yang telah ditentukan. Nilai *Network Throughput* dapat diperoleh dengan mengalikan jumlah total prediksi target user dengan *Single User troughput* .

Tabel 5 Jumlah *Resource Block* [7]

Bandwith	Jumlah Resource Blok
5	25
10	50
15	75

Tabel 6 Parameter perhitungan *Network Throughput*

Kabupaten/Kota	Type Area	SUT _{UL} (Kbit)	SUT _{DL} (Kbit)	Estimasi Jumlah User 2016
Kab. Pandeglang	Sub Urban	5.542	19.674	237,894
Kab. Lebak	Sub Urban	5.542	19.674	253,510
Kab. Tangerang	Urban	9.509	36.377	689,001
Kab. Serang	Sub Urban	5.542	19.674	294,159
Kota. Tangerang	Dense Urban	10.802	44.771	484,041
Kota. Cilegon	Sub Urban	5.542	19.674	82,968
Kota. Serang	Sub Urban	5.542	19.674	129,800
Kota. Tangerang Selatan	Dense Urban	10.802	44.771	368,459

Berikut parameter yang digunakan untuk menghitung kapasitas cell sbb

- Frequency: 1800 MHz
- Bandwith yang digunakan 5Mhz, 10 Mhz dan 15 Mhz
- Modulation: 64 QAM (code bits = 6)
- Code Rate: 11/12
- Nrb: Jumlah resource block tiap bandwith seperti pada tabel 3.5
- C (MIMO): 2

3.2 Perhitungan *Link Budget*

Pada penelitian ini frekuensi yang digunakan adalah frekuensi 1800 MHz maka model pathloss yang digunakan adalah Model Cost 231-Hatta. Adapun parameter untuk penelitian ini sebagai berikut:

- Frekuensi Carrier (f_c) = 1800 MHz
- Tinggi antena Base Station (h_b) = 40 m
- Tinggi antena Mobile Station (h_m) = 2 m

3.2.1 Perhitungan *Link Budget Uplink*

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

Tabel 7 Parameter Uplink

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

3.2.2 Perhitungan Link Budget Downlink

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

Tabel 8 Parameter Downlink

Parameter Downlink	Value
Tx power	43 dBm
Tx Antena Gain	19 dBi
Tx Cable loss	2 dB
Rx Noise Figure	7 dB
Rx SINR	(-) 7dB QPSK
Bandwidth	10 MHz
Rx Cable loss	(-)
Rx Interference Margin	4 Db
Rx Antenna Gain	2 dBi
Control channel overhead	1 dB
Shadow Fading margin	8.9 dB
Total Penetration loss	25 dB
Ue Body loss	2 dB

3.3 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk mendapatkan gambaran kelayakan dari implementasi jaringan LTE, terkait dengan biaya yang dikeluarkan oleh operator terkait dengan pembangunan, pengembangan dan operasional jaringan. Dalam bagian ini, dihitung prediksi biaya yang akan dikeluarkan serta prediksi pendapatan yang akan diperoleh dari hasil penjualan layanan kepada konsumen.

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

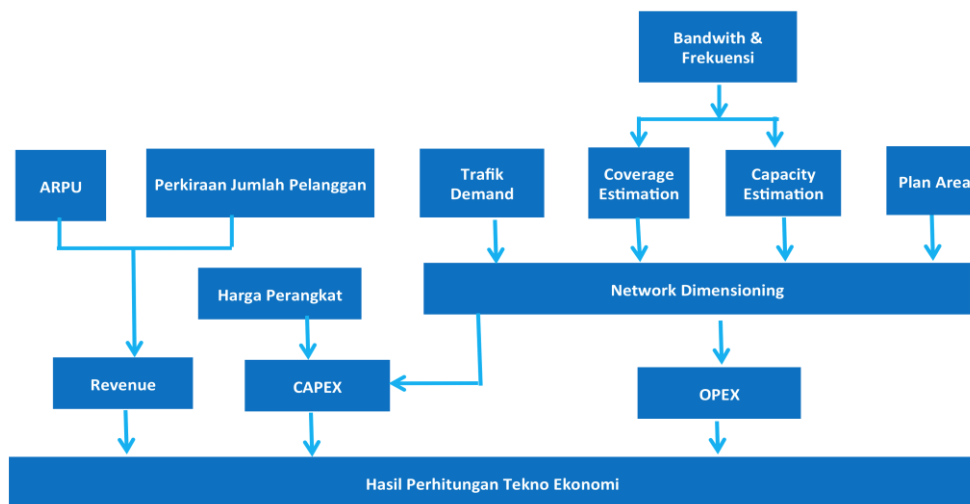
Sedangkan keluaran dari fungsi model ini antara lain : NPV, IRR

PaybackPeriod

Model ini 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.

4. ANALISA DATA DAN SIMULASI

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan tekno ekonomi dengan metode *discounted cash flow*. Sebelum dilakukan perhitungan secara ekonomi dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah eNode B yang akan meng-cover area penelitian secara optimum yang disesuaikan dengan luas area dan jumlah pelanggan yang akan dilayani. Dalam proses perencanaan jaringan LTE untuk menentukan jumlah eNode B menggunakan 2 metode perencanaan yaitu *capacity dimensioning* dan *coverage planning*.



Gambar 3 Skema Perencanaan implementasi jaringan LTE dengan Tekno Ekonomi

4.1. LTE Capacity Planning

Pada *Capacity planning* dilakukan untuk setiap karakteristik wilayah dan *bandwith* yang berbeda-beda. Propinsi Banten mempunyai beberapa kategori wilayah yaitu urban, , sub urban dan dense urban. Dalam penelitian ini besar *bandwith* yang digunakan adalah 5 MHz ,10 MHz dan 15 MHz , disesuaikan dengan karakteristik dari wilayah tsb. Adapun asumsi besar *bandwith* untuk tiap area yaitu Sub urban = 5 MHz, Urban = 10 MHz dan dense Urban=15 MHz. Dalam penelitian ini menggunakan parameter trafik yang mengacu pada LTE *Radio Network Planning* [7] , yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 9 Parameter Trafik Service Mode

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	26.9	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	500	1	1%	62.53	1800	1	1%	113690.9	113690.9
Gaming	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%	11367.3	90952.7
Steaming Media	31.26	1800	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%	5683.6	864016.4
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	60	1	1%	750.34	1200	1	1%	303163.6	909503

Berdasarkan parameter-parameter yang ditunjukkan pada tabel 9 dan 10 maka diperoleh nilai *single user throughput* untuk tiap type area yang ditunjukkan pada tabel 11 .

Tabel 10. Model Trafik

User Behavior	Dense Urban		Urban		Sub Urban		Rural	
	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
Gaming	30.00%	0.2	20.00%	0.2	10.00%	0.1	5.00%	0.1
Steaming Media	15.00%	0.2	15.00%	0.15	5.00%	0.1	5.00%	0.1
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

Besar dari *Network throughput* dapat ditentukan dengan mengalikan nilai *single user troughput* yang terdapat pada tabel 11 dengan besar estimasi jumlah *user* di setiap Kabupaten/Kota di propinsi Banten. Hasil perhitungan *Network Throughput* ditunjukkan dalam tabel 12

Tabel 11. Single user throughput

User Behavior	Dense Urban		Urban		Sub Urban	
	UL (kbit)	DL (kbit)	UL (kbit)	DL (kbit)	UL (kbit)	DL (kbit)
VoIP	1704.21	1704.21	1356.41	1356.41	478.22	478.22
Video Phone	247.59	247.59	169.78	169.78	48.63	48.63
Video Conference	6366.69	6366.69	3069.65	3069.65	1250.60	1250.60
Gaming	954.85	7640.03	545.63	4365.73	125.04	1000.48
Steaming Media	238.71	36288.69	153.46	23328.44	31.26	4752.09
Signalling	61.89	61.89	31.83	31.83	18.24	18.24
Web Browsing	4775.02	19099.31	2728.58	10913.89	750.36	3001.32
File Transfer	7162.40	38199.13	4092.80	21828.07	3751.73	20009.07
Email	397.91	636.65	255.80	409.28	156.32	250.11
P2P file sharing	16977.16	50932.17	21827.78	65484.22	13339.20	40018.13
Total	38886.44	161176.36	34231.72	130957.30	19949.61	70826.90
Single User Throughput(total/3600)	10.80	44.77	9.51	36.38	5.54	19.67

Perhitungan nilai kapasitas downlink dan uplink menggunakan persamaan 6 dan 7 Dan hasil perhitungan kapasitas downlink dan uplink terhadap besar bandwidth dapat dilihat dari tabel 13.

Jumlah cell yang akan digunakan untuk melayani pelanggan didapat dengan membandingkan atau membagi jumlah *Network Throughput* (NT) dengan *cell capacity downlink/uplink*. Hasil perhitungan jumlah cell dari downlink dan uplink tercantum dalam tabel 14.

Tabel 12 Total Network Throughput

Kabupaten/Kota	SUT ^{UL} (Kbit)	SUT ^{DL} (Kbit)	Estimasi ^U Jumlah ^U User ^U 2016	Network ^U Throughput ^U (UL)	Network ^{DL} Throughput ^{DL} (DL)
Kab ^P Pandeglang	5.542	19.674	237,894	1,318,407	4,680,319
Kab ^L Lebak	5.542	19.674	253,510	1,404,950	4,987,548
Kab ^T Tangerang	9.509	36.377	689,001	6,551,707	25,063,777
Kab ^S Serang	5.542	19.674	294,159	1,630,231	5,787,290
Kota ^T Tangerang	10.802	44.771	484,041	5,228,614	21,671,011
Kota ^C Cilegon	5.542	19.674	82,968	459,808	1,632,309
Kota ^S Serang	5.542	19.674	129,800	719,350	2,553,681
Kota ^T Tangerang ^S Selatan	10.802	44.771	368,459	3,980,092	16,496,269

Tabel 13 Downlink/Uplink Cell Capacity

Bandwith	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)
5	33.12	15.84
10	66.24	31.68
15	99.36	47.52

Tabel 14 Jumlah Cell Downlink dan Uplink

Kab/Kota	Cell ^U Number ^U Downlink	Cell ^{DL} Number ^{DL} Uplink
Kab ^P Pandeglang	141	83
Kab ^L Lebak	151	89
Kab ^T Tangerang	378	207
Kab ^S Serang	175	103
Kota ^T Tangerang	218	110
Kota ^C Cilegon	49	29
Kota ^S Serang	77	45
Kota ^T Tangerang ^S Selatan	166	84

Berdasarkan hasil jumlah cell yang telah didapat seperti dalam tabel 14 dimana jumlah cell uplink lebih besar dari downlink maka perhitungan jumlah eNode B hanya memperhitungkan dari sisi downlink saja. Dengan asumsi bahwa setiap site mempunyai jumlah 3 buah sektor, maka jumlah eNode seperti tabel 15.

Tabel 15 Jumlah eNode B

Kab/Kota	Jumlah ^e eNode ^B
Kab ^P Pandeglang	48
Kab ^L Lebak	51
Kab ^T Tangerang	127
Kab ^S Serang	59
Kota ^T Tangerang	73
Kota ^C Cilegon	17
Kota ^S Serang	26
Kota ^T Tangerang ^S Selatan	56

4.2. LTE Coverage Planning

Dalam *link budget coverage planning* langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung besarnya *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL).

4.2.1 Perhitungan Link Budget

Adapun fungsi dari perhitungan link budget adalah untuk menentukan daya terima minimum yang masih bisa diterima oleh pelanggan dengan kualitas layanan yang masih baik. Berdasarkan hasil perhitungan *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL) tersebut maka diperoleh jarak dari eNode B ke *Mobile Station* (MS) untuk masing – masing tipe area yaitu dense urban , sub urban dan urban. Hasil perhitungan MAPL untuk tiap tipe area dari sisi uplink dan downlink terdapat dalam tabel 16.

Tabel 16 Besar MAPL Uplink dan Downlink

Category	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
DenseUrban	-	-	-	-	134.339	148.34
Urban	-	-	136.1	150.11	-	-
SubUrban	139.1103	153.11	-	-	-	-

4.2.2 Perhitungan Area /Radius Sel

Berdasarkan nilai *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL) seperti pada tabel 16, diperoleh jarak maksimum antara eNodeB dengan *Mobile Station* (MS). Adapun jarak antara MS terhadap eNodeB pada arah uplink dapat dilihat pada tabel 17.

Tabel 17 Jarak MS dengan eNodeB

	d(km)Uplink	d(km)Downlink
SubUrban	1.13	3.62
Urban	0.92	2.35
DenseUrban	0.82	2.089

Untuk perhitungan jumlah eNode B , jarak yang digunakan adalah jarak uplink karena merupakan jarak maksimum penerimaan yang masih diijinkan. Asumsi jumlah sektor dalam 1 site 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 eNode B ke Mobile Station (MS).

Dengan menggunakan persamaan diatas maka hasil perhitungan luas *cell* seperti pada tabel 18.

Tabel 18 Luas Cell LTE

Type	DenseUrban	Urban	SubUrban
LuasSel(km ²)	3.41	4.29	6.47

Hasil perhitungan jumlah eNode B untuk melayani area kabupaten/kotamadya di seluruh wilayah propinsi Banten dapat dilihat pada tabel 19.

Tabel 19 Jumlah eNode B seluruh wilayah Banten

Kabupaten/Kota	Type Area	Luas (km ²)	Jumlah e Node B
Kab Pandeglang	Sub Urban	2746.89	425
Kab Lebak	Sub Urban	3426.56	530
Kab Tangerang	Urban	1011.86	236
Kab Serang	Sub Urban	1734.28	268
Kota Tangerang	Dense Urban	153.93	45
Kota Cilegon	Sub Urban	175.5	27
Kota Serang	Sub Urban	266.71	41
Kota Tangerang Selatan	Dense Urban	147.19	43

4.2.3 Jumlah eNode B Final

Jumlah eNode B final didapat dengan memilih dan membandingkan jumlah eNode B dari hasil *coverage planning* dengan *capacity planning*. Dengan menggunakan pertimbangan tersebut maka jumlah eNode B final ditunjukkan pada tabel 20.

Tabel 20 Jumlah enode B Final

Kabupaten/Kota	Type	Luas (km ²)	Jumlah eNode B (coverage Planning)	Estimasi Jumlah User	Jumlah eNode B (Capacity Dimensioning)	Jumlah eNode B Final
Kab Pandeglang	Sub Urban	2746.89	425	237,894	48	48
Kab Lebak	Sub Urban	3426.56	530	253,510	51	51
Kab Tangerang	Urban	1011.86	236	689,001	127	127
Kab Serang	Sub Urban	1734.28	268	294,159	59	59
Kota Tangerang	Dense Urban	153.93	45	484,041	73	73
Kota Cilegon	Sub Urban	175.5	27	82,968	17	27
Kota Serang	Sub Urban	266.71	41	129,800	26	41
Kota Tangerang Selatan	Dense Urban	147.19	43	368,459	56	56

4.3 Analisa Ekonomi

Pada penelitian ini dilakukan analisa 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*). Sedangkan parameter output nya adalah parameter kelayakan implementasi seperti IRR, NPV dan PBP.

4.3.1 Komponen Biaya

Pada tahap ini, proses penelitian akan dilakukan asesment implementasi jaringan LTE dari segi ekonomi meliputi biaya CAPEX, OPEX, *Revenue*.

4.3.1.1 Capital Expenditure (CAPEX)

Asumsi CAPEX dalam penelitian ini hanya meliputi biaya perangkat Evolved Packet Core (EPC): MME, SGW/PGW, HSS dan Evolution UTRAN (E-UTRAN/ eNodeB). Nilai variabel CAPEX ditunjukkan pada tabel 21.

Tabel 21 Asumsi *Capital Expenditure* (CAPEX)

Model	Equipment	Price (USD)	Quantity	Total Cost (USD)
Hardware	eNodeB	7,287	482	3,512,334.00
	SGW/PGW	673,860	1	673,860.00
	LTE HSS (HW)	98,866	1	98,866.00
Service	Installation & Commisioning	312,189	1	312,189.40
	SW & License	796,723	1	796,723.00
TOTAL				5,393,972.40

4.3.1.2 *Operational Expenditure* (OPEX)

OPEX merupakan alokasi biaya operasi dan perawatan yang dibutuhkan dalam menggelar jaringan LTE . Dalam penelitian ini ,yang dimaksud dengan biaya OPEX terdiri dari biaya untuk penggajian karyawan technical support (SDM), operasional dan maintenance, biaya promosi dan marketing serta umum dan administrasi. Estimasi besar biaya *Operational Expenditure* (OPEX) dilihat dalam tabel 22.

Tabel.22 Estimasi biaya OPEX penyelenggaraan Jaringan LTE

Tahun	Promosi dan Marketing	Umum dan Administrasi	SDM	Operasional & Maintenance	Total OPEX
2016	78,526,224	70,673,602	1,596,000,000	3,442,626,904	5,187,826,729
2017	623,278,154	560,950,339	1,726,213,200	3,472,759,470	6,308,688,363
2018	2,794,284,601	2,514,856,141	1,786,458,041	3,557,130,654	10,575,616,141
2019	2,810,431,399	2,529,388,259	1,848,805,426	3,683,687,431	10,792,507,965
2020	2,827,015,974	2,544,314,377	1,913,328,736	3,870,509,340	11,155,168,427

4.3.1.3 *Revenue*

Revenue merupakan pendapatan yang diperoleh dalam penyelenggaraan jaringan telekomunikasi. Perolehan revenue 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 dalam periodik per tahun. Pada tabel 23 berikut merupakan analisa perhitungan *revenue* yg dihasilkan dengan jaringan LTE yang telah dibangun dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2020.

Tabel 23 Estimasi Revenue LTE

Tahun	Prediksi Jumlah Pelanggan LTE	Prediksi ARPU	Revenue
2016	77,903	25,200	1,963,155,600
2017	582,220	25,461	14,823,903,420
2018	2,652,735	24,909	66,076,968,113
2019	2,711,515	24,357	66,044,378,649
2020	2,771,910	23,804	65,982,555,058

4.3.2 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 sepuluh tahun. Biaya penyusutan dihitung dari nilai investasi yang dibutuhkan dibagi dengan masa pakai perangkat. Biaya penyusutan tersebut akan muncul setiap tahun sepanjang masa pakai perangkat. Besar biaya penyusutan periode 2016-2020 seperti ditabulasikan pada tabel 24.

Tabel 24 Biaya Penyusutan Periode 2016-2020

Tahun	Penyusutan (IDR)
2016	11,008,087,028
2017	4,675,970,254
2018	4,675,970,254
2019	4,738,082,558
2020	4,994,931,223

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 tersebut akan menguntungkan sehingga layak untuk dioperasikan, $NPV = 0$ berarti perusahaan tidak mengalami keuntungan maupun kerugian, dan bila $NPV < 0$ maka perusahaan/proyek tersebut tidak akan menguntungkan sehingga proyek tersebut tidak layak untuk dijalankan.

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 perhitungan ekonomi pada penelitian ini digunakan parameter sebagai berikut:

Tabel 25 Parameter Ekonomi

Parameter	Nilai
Kurs	13,313
MARR	8,25%
Periode	5 tahun
Pajak	20%

Berikut adalah hasil analisis kelayakan tekno ekonomi :

Tabel 26. Analisis Kelayakan Ekonomi NPV, IRR dan PBP

Parameter	Value	Summary
NPV	IDR105,621,259,681	Layak
IRR	12.95%	Layak
Pay Back Period	3 tahun 1 bulan	Layak

Berdasarkan tabel 26 di atas hasil penelitian diperoleh nilai NPV lebih besar dari nol yaitu Rp 105,621,259,681 dan besar IRR =12.95% di atas bunga investasi dari Bank Indonesia . Adapun nilai pengembalian investasi ini sekitar 3 tahun 1 bulan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dengan pendekatan *capacity estimation* dan *coverage planning* pada tahun pertama jumlah eNode B yang diperlukan untuk membangun jaringan layanan LTE di propinsi Banten sebanyak 482 buah. Jumlah tsb berdasarkan perbandingan dari *capacity estimation* dan *coverage planning*.
2. Dari hasil analisis ekonomi *discounted cash flow*, dihasilkan kesimpulan bahwa nilai NPV positif sebesar Rp 105,621,259,681 dan besar IRR =12.95% dengan nilai *Pay Back Period* 3 Tahun 1 Bulan.. Sehingga dapat disimpulkan investasi ini layak diimplementasikan.

5.2 Saran

1. Dalam penelitian ini hanya membahas dimensioning berdasarkan dari sisi RAN saja. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan *dimensioning* dari sisi transmisi yaitu terkait dengan arsitektur serta kapasitas , baik untuk *fronthaul* maupun *backhaul*.
2. Dalam penelitian selanjutnya dapat ditambahkan topik analisis Tekno Ekonomi terkait dengan implementasi jaringan LTE yang digunakan untuk *RAN Sharing* .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hontzeas, Antonis. 2009 . Long Term Evolution. Considerations. wordpress.com.
- [2] Hola, Harri; Toskala, Antti. 2009. LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Finland :Wiley
- [3] Usmiati . (2014). Analisis Biaya Pembangunan dan Dimensioning Jaringan Layanan Broadband Berbasis Long Term Evolution (LTE) area Jakarta Barat. Master Thesis, Universitas Mercu Buana
- [4] Rangga Yudha Pratama . (2016). Analisis Tekno Ekonomi Kelayakan Migrasi Jaringan 2G/3G ke 4G LTE Dengan Teknik Joint Base Station Pada Frekuensi 900MHz atau 1800 MHz di DKI Jakarta (Studi Kasus: PT.Indosat, Tbk). Master Thesis, Universitas Mercu Buana
- [5] Ari Sadewa Yogapratama, Uke Kurniawan Usman, Tody Ariefianto Wibowo. (2015). Analysis on 900 MHz And 1800 MHz LTE Network Planning in Rural Area, Journal of IEEE 2015 978-1-4799-7752-9/15, 135-139
- [6] Setyaji Zunaierlan , Indra Riyanto. (2016). 4G LTE Network Design Around Budi Luhur University Campus And Its Neighborhood Area Journal of IEE 978-1-5090-2406-3/16, 51-56
- [7] Huawei.2010.LTE Network Planning. Huawei Technologies, co. LTD
- [8] Ashutosh Jha, Debashis Saha. (2015) ,Techno Economic assessment of the potential for LTE based 4G mobile services in rural India. Journal of IEEE ANTS 2015 1570180129 , 1-6

- [9] Skold, Johan, Erick Dahlman, Stefan Parkvall, Per Bening.2007. 3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband. Oxford. UK
- [10] BPS Propinsi Banten .(2015).www.bps.go.id
- [11] Indosat .(2012). Annual Report Indosat 2012. www.indosatooredoo.com
- [12] Indosat .(2013). Annual Report Indosat 2013. www.indosatooredoo.com
- [13] Indosat .(2014). Annual Report Indosat 2014. www.indosatooredoo.com
- [14] Indosat .(2015). Annual Report Indosat 2015. www.indosatooredoo.com
- [15] Indosat .(2016). Annual Report Indosat 2016. www.indosatooredoo.com
- [16] Hasnul Suhaimi. (2012). Tranformasi Menuju Data [<http://www.manajementelekomunikasi.org/2012/10/transformasi-menuju-data.html>]
- [17] Basuki Yusuf Iskandar. (2015). Buku Saku Data dan Tren TIK [https://kominfo.go.id/index.php/content/detail/4634/Buku+Saku+Data+dan+Tren+TIK/0/berita_satker]
- [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] Ketty Siti Salamah. (2016), Analisis Jaringan LTE Pada Frekuensi 700 MHz Dan 1800 MHz Area Kabupaten Bekasi Dengan Pendekatan Tekno Ekonomi , Master Thesis, Universitas Mercu Buana
- [20] Catalina Ovando n, Jorge Pérez, Antolín Moral .(2014). LTE techno-economic assessment: The case of rural areas in Spain. Journal of Telecommunications Policy 39 (2015) 269–283
- [21] Ashutosh Jha, & Debashis Saha. (2015) ,Techno Economic assesment of the potential for LTE based 4G mobile services in rural India. Journal of IEEE ANTS 2015 1570180129 , 1-6
- [22] Bank Mandiri .(2016). Suku Bunga: September 2016 [http://www.bankmandiri.co.id/resource/bunga_02122011.asp]
- [23] Bank Indonesia. (2016). Laporan Kebijakan Moneter Triwulan II 2016 [<http://www.bi.go.id/id/publikasi/kebijakanmoneter/tinjauan/Pages/Laporan-Kebijakan-Moneter-Triwulan-II-2016.aspx>]