



Analisis Kelayakan Implementasi Teknologi LTE 1.8 GHz Bagi Operator Seluler di Indonesia

Feasibility Analysis of LTE 1.8 GHz for Mobile Operators in Indonesia

Sri Ariyanti¹, Doan Perdana²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika

¹Jl. Medan Merdeka Barat No.9 Jakarta 10110

²Electrical Engineering Department, Telkom University

²Jl. Telekomunikasi, Terusan Buah Batu, Bandung 40257

INFORMASI ARTIKEL

Naskah diterima 3 Januari 2015

Direvisi 25 Januari 2015

Disetujui 25 Februari 2015

Keywords:

LTE

Feasibility Analysis

1.8 GHz

Kata kunci :

LTE

Analisis Kelayakan

1,8 GHz

ABSTRACT

The increasing of data demand drives mobile operators to implement broadband access network more reliable. LTE technology has downlink peak rate up to three times than HSDPA, hence it may fulfill the mobile data user requirement. Frequency 1.8 GHz refarming can be implemented to provide efficiency due to They do not need to pay licence fee for leasing new frequency. GSM technology will be abandoned since it is not growing anymore, besides that dense urban users tend to use data mobile. Before implementing LTE technology on 1.8 GHz frequency, It is necessary to analysis the feasibility that technology. This method research used qualitative supported by quantitative approach. The result of this research showed that minimum bandwidth to implement 1.8 GHz LTE is 15 MHz. Instead of without Global Frequency Returning, using bandwidth 10 MHz is not feasible.

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan layanan data mendorong operator telekomunikasi berusaha mengimplementasikan jaringan akses *broadband* yang lebih handal. Teknologi LTE merupakan salah satu teknologi dengan kecepatan mencapai tiga kali dibanding teknologi HSDPA, sehingga diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pelanggan data *mobile*. *Refarming* frekuensi 1.8 GHz untuk penerapan teknologi LTE memberikan efisiensi karena tidak perlu membayar BHP lagi untuk menyewa frekuensi baru. Teknologi 2G GSM selama ini juga semakin ditinggalkan, masyarakat di daerah perkotaan cenderung lebih banyak menggunakan layanan data. Sebelum diterapkannya teknologi LTE pada frekuensi 1.8 GHz perlu adanya kajian untuk mengetahui kelayakan teknologi LTE pada frekuensi 1.8 GHz. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan *cost-benefit analysis* implementasi LTE pada frekuensi 1.8 GHz. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif yang didukung dengan data kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minimal bandwidth yang diperlukan agar implementasi LTE layak digunakan adalah 15 MHz. Meskipun tanpa *Global Frequency Returning*, penggunaan *bandwidth* 10 MHz tidak layak digunakan untuk implementasi LTE.

1. Pendahuluan

Pola kebutuhan berkomunikasi saat ini dapat dipenuhi dengan sumber informasi yang tidak terbatas melalui internet dan juga mobilitas komunikasi dimana saja melalui teknologi komunikasi nirkabel yang disebut dengan istilah *mobile broadband*. Namun seiring dengan perkembangan tersebut, pengalaman dan kepuasan pengguna jasa telekomunikasi masih belum terpenuhi sesuai dengan yang diharapkan dikarenakan kecepatan dan layanan yang ada masih terbatas. Disamping itu jumlah pengguna layanan *mobile data* semakin meningkat sejak diluncurkannya teknologi 3G. Hal tersebut menjadi tantangan bagi operator untuk selalu dapat memenuhi harapan para pelanggan agar penyelenggaraan bisnis dapat terus berlangsung. Maka

Email : ¹sri.ariyanti@kominfo.go.id, ²doanperdana@telkomuniversity.ac.id

dari itu para operator telekomunikasi berusaha mengimplementasikan jaringan akses *broadband* yang lebih handal sehingga mampu memenuhi kenaikan permintaan dan kepuasan pelanggan.

Disamping itu persaingan bisnis operator 3G di Indonesia sangat ketat dengan hadirnya beberapa operator ditambah dengan peningkatan jumlah *subscriber* data yang signifikan sejak diluncurkannya teknologi 3G, sehingga setiap operator harus mampu meningkatkan kualitas layanan baik dari segi kecepatan, kapasitas maupun jangkauan agar dapat menghadapi tantangan-tantangan tersebut. Upaya peningkatan layanan yaitu dengan mengimplementasikan teknologi yang lebih handal dari segi kecepatan akses maupun kapasitas serta ekspansi jangkauan.

Teknologi *Long Term Evolution* (LTE) dapat menjadi jawaban atas kebutuhan tersebut. LTE 1.8 GHz merupakan standar teknologi *mobile broadband* berbasis *all-IP* yang dikeluarkan oleh 3GPP. 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*. Berbagai kelebihan tersebut bertujuan untuk meningkatkan interaksi pengguna jasa telekomunikasi ke jaringan yang pada akhirnya untuk memenuhi kebutuhan layanan *mobile broadband* (MBB) seperti akses internet *broadband*, *on-line TV*, *blogging*, *social network* dan *interactive gaming*.

Sebelum diterapkan teknologi 4G LTE perlu diidentifikasi frekuensi yang digunakan. Sebagaimana telah kita ketahui bahwa frekuensi merupakan sumber daya yang terbatas. Untuk penggunaannya harus seefisien mungkin. Agar teknologi LTE diterapkan dengan frekuensi yang efisien, maka kemungkinan bisa diterapkan pada frekuensi yang telah digunakan saat ini yaitu frekuensi 1800 MHz yang selama ini digunakan untuk teknologi GSM. *Refarming* frekuensi antara teknologi 2G dan 4G memberikan efisiensi bagi operator, yaitu tidak perlu membayar Biaya Hak Penggunaan (BHP) frekuensi baru.

Merger antara XL Axiata dan Axis memberikan keuntungan yaitu memiliki *bandwidth* yang lebar terutama frekuensi 1.8 GHz yaitu menjadi 22.5 MHz, dengan frekuensi yang dimiliki XL Axiata sebesar 7.5 MHz dan Axis sebesar 15 MHz. XL Axiata juga sudah berencana menggunakan frekuensi 1.8 GHz untuk teknologi LTE dengan adanya LTE pada frekuensi tersebut. Selain itu PT. Telkomsel, Indosat dan H3I juga sudah melakukan trial teknologi LTE pada frekuensi tersebut.

Meskipun sudah dilakukan *trial* teknologi LTE oleh keempat operator seluler tersebut, namun perlu dilakukan analisis ekonomi kelayakan teknologi tersebut pada frekuensi 1800 MHz. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan kajian mengenai analisis ekonomi implementasi teknologi LTE pada frekuensi 1800 MHz.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian *Cost Benefit Analysis* terhadap implementasi skema *refarming* frekuensi bagi operator telekomunikasi di Indonesia. Adapun manfaat penelitian ini diharapkan dapat mendapatkan rekomendasi bagi penyusunan kebijakan terkait penggunaan alokasi frekuensi 1.8 GHz untuk skema *refarming* frekuensi bagi operator telekomunikasi di Indonesia.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Tinjauan Pustaka

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

a. *Techno-Economic Analysis of LTE Release 8 Implementation with Using Capacity and Coverage Estimation Method and DCF Methode in Jabodetabek* oleh Anang Prasetyo (2011)

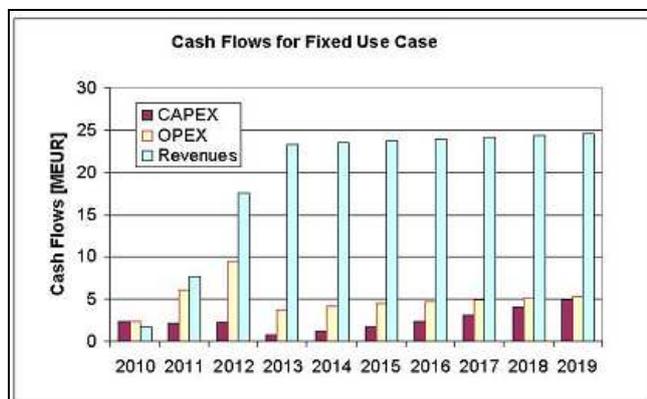
Penelitian ini dianalisa secara teknologi dan ekonomi terhadap implementasi LTE release 8 pada jaringan operator *existing* dengan menggunakan skenario *co-existence*. Model analisa yang digunakan berdasarkan prinsip tekno ekonomi dengan menggunakan metode *capacity and coverage estimation* untuk menentukan perancangan teknologi LTE dan metoda DCF untuk menganalisa secara ekonomi dan mengukur kelayakan biaya yang dikeluarkan untuk implementasi LTE tersebut.

Dari simulasi skenario yang dilakukan, diperoleh kesimpulan yaitu NPV terbesar diperoleh berdasarkan skenario pertama dengan pencapaian NPV sebesar Rp. 45.897.032.000, IRR sebesar 18,095%, dan waktu balik modal pada tahun ke 7 dan bulan ke 10. Dari analisis sensitivitas yang dilakukan diperoleh bahwa faktor tarif dan jumlah pelanggan sangat mempengaruhi pencapaian dan dari analisis resiko pada kondisi terburuk terhadap faktor jumlah pelanggan, diperoleh bahwa kemungkinan nilai NPV akan tetap positif adalah sebesar 83,27%, sehingga dapat disimpulkan bahwa implementasi LTE *release* 8 di wilayah JABODETABEK adalah layak untuk diimplementasikan (Prasetyo, 2011).

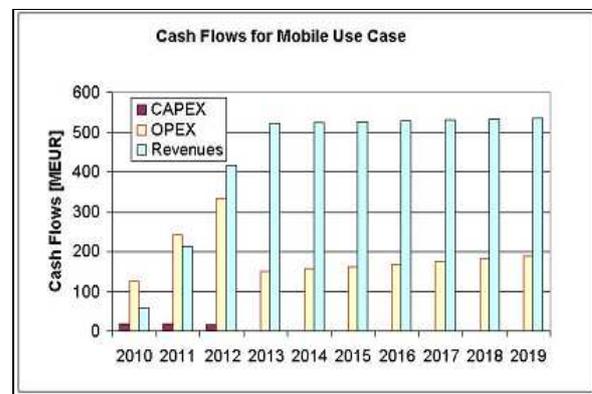
b. *Economic of 3G Long-Term Evolution: the Business Case for the Mobile Operator* oleh Mr. Anssi Hoikkanen, Nokia Siemens Network (2006)

Penelitian ini menganalisis ekonomi jaringan *System Architecture Evolution* (SAE) 3G LTE. Analisis dimulai dengan mendeskripsikan pendorong evolusi kedepan jaringan 3G dan kasus bisnis teknologi 3G LTE yang diikuti dengan mendiskusikan prinsip model tekno-ekonomi. Pada akhirnya penelitian ini menganalisis tekno-ekonomi operator 3G LTE pada jaringan 3G yang dimilikinya (Hoikkanen & Networks, 2006).

Analisis dilakukan dengan membuat model simulasi tekno-ekonomi pada negara – negara besar Asia Tenggara pada tahun 2010 – 2019. Dua Kasus yang berbeda dianalisis yaitu jaringan tetap, sama dengan *wireless DSL*, dan jaringan *mobile*, sama dengan jaringan data seluler 3G. Pengguna layanan diasumsikan satu juta untuk jaringan tetap dan 10 juta untuk jaringan *mobile data*. Pada dua kasus tersebut, total biaya pembangunan dan operasional jaringan SAE berturut-turut sebesar 80 juta Euro dan 2 milyar Euro. Pada kasus jaringan tetap, ARPU per bulan sebesar 14 euro, sedangkan pada kasus jaringan *mobile* sebesar 10 euro agar balik modal. Adapun *cash-flow* untuk masing-masing kasus dapat dilihat pada gambar 1 dan 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa meskipun biaya belanja modal pada jaringan tetap setiap tahun ada, namun pada jaringan *mobile* dari tahun pertama sampai ketiga. Pada kedua kasus tersebut operator akan memperoleh keuntungan pada tahun keempat.



Gambar 1. Cash Flow untuk kasus jaringan *fixed*

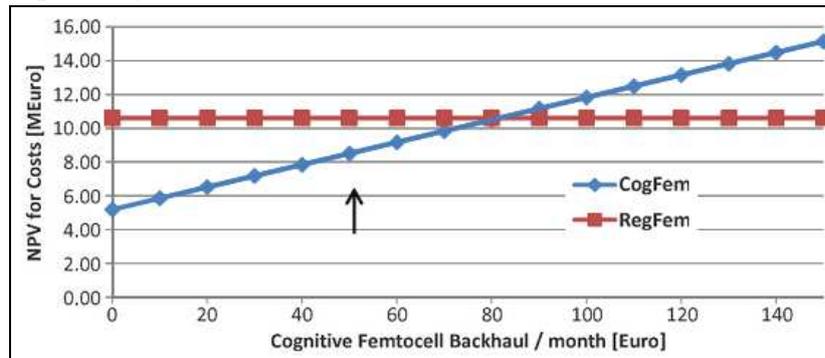


Gambar 2. Cash Flow untuk kasus jaringan *mobile*

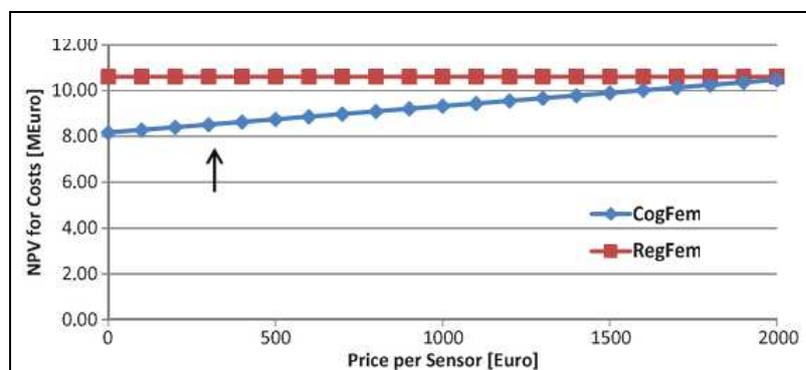
c. *Business Case Evaluations for LTE Network Offloading with Cognitive Femtocells* oleh P° al Grønsund, Ole Grøndalen dan Markku L`ahteenoja (2013)

Penelitian ini bertujuan menganalisis aspek bisnis operator *mobile* yang menggunakan jaringan LTE dengan menerapkan *cognitive femtocell*. Penambahan sensor *network cognitive femtocells* akan memungkinkan dapat menggunakan frekuensi selain jaringan *mobile*, oleh karena itu perlu adanya peningkatan *power* untuk mengcover area *outdoor* dan gedung sebelahnya. Strategi *cognitive femtocell* akan dibandingkan dengan alternatif strategi dimana operator membangun femtocel konvensional dan harus membangun *base stations* tambahan untuk mengimbangi permintaan trafik. Analisis bisnis menunjukkan ada potensi penghematan biaya ketika menggunakan *cognitive femtocell* jika dibandingkan strategi alternatif. Hasil *sensitivity analysis* menunjukkan bahwa harga *backhaul* merupakan parameter yang paling penting dalam pembangunan jaringan *cognitive femtocell*. Sedangkan biaya yang berhubungan dengan *fixed sensor network* merupakan hal yang paling kurang berpengaruh signifikan (Grønsund,

Grøndalen, & Lähteenoja, 2013). *Sensitivity analysis* dalam penelitian ini juga menunjukkan parameter untuk *spectral efficiency*, *cognitive* dan konvensional *femtocell offloading gain*, *sensor density* dan harga, densitas pelanggan dan pembangunan *site*.



Gambar 3. Sensitivity analysis harga bakchaul pada cognitive femtocell



Gambar 4. Sensitivity Analysis harga sensor pada cognitive femtocell

- d. *A Cost Modeling of High-Capacity LTE-Advanced and IEEE 802.11 ac Based Heterogeneous Networks, Deployed in the 700 MHz, 2.6 GHz and 5 GHz Bands* oleh Vladimir Nikolikj dan Toni Jnevski (2014)

Penelitian ini mengembangkan “*state-of-the-art*” model biaya jaringan nirkabel *heterogeneous* untuk menentukan biaya pembangunan jaringan radio yang paling efektif dengan permintaan penggunaan per pelanggan lebih dari 100 GB tiap bulan. Penelitian ini juga membandingkan teknologi *LTE-Advanced* dan standard *Wi-Fi IEEE 802.11ac*. Analisis dalam penelitian ini berkontribusi terhadap penilaian keuntungan pengoperasian teknologi *LTE-Advanced* pada *band digital dividend*. *Outcome* model pembiayaan memberikan penilaian yang tepat pada total investasi yang diperlukan untuk melayani area tertentu, menggunakan band dari 700 MHz sampai 5 GHz.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa solusi *small cell* seperti *femto cell* dan *WiFi* lebih efisien ketika *base station* makro yang baru perlu dibangun atau ketika peningkatan trafik yang tinggi harus dilayani. Pada kasus evaluasi yang lain menunjukkan bahwa pentingnya ukuran spektrum dalam menentukan performansi *cost-capacity*. Dengan mengevaluasi nilai ekonomi pembangunan bersama *small* dan *macro cell*, dapat ditentukan bahwa disamping investasi spektrum tambahan atau membangun jaringan yang lebih banyak, operator *mobile* dapat mengkompensasi *penetration losses indoor* melalui *site femto* atau *Wi-Fi*(Nikolikj & Janevski, 2014)

2.2. Landasan Teori

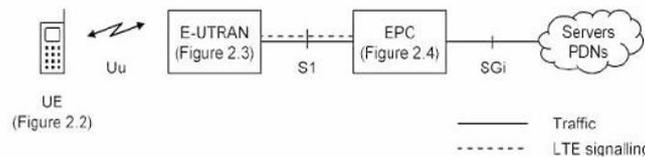
Long Term Evolution (LTE) adalah jaringan akses radio evolusi jangka panjang keluaran dari 3rd *Generation Partnership Project (3GPP)*. *LTE* merupakan kelanjutan dari teknologi generasi ketiga (3G) *WCDMA-UMTS*(Lingga Wardhana, 2014)

Organisasi 3GPP merumuskan kriteria teknologi *LTE* sebagai berikut(Lingga Wardhana, 2014):

- 1) *Peak rate downlink* mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gbps saat bergerak pelan atau diam, sedangkan *peak rate* untuk *uplink* sebesar 50 Mbps
- 2) *Delay* sistem berkurang hingga 140 ms
- 3) Efisiensi spektrum meningkat dua hingga empat kali lipat dari teknologi 3.5G *High Speed Packet Access (HSPA) Release-6*
- 4) Migrasi sistem hemat biaya dari HSPA *Release-6* ke LTE
- 5) Meningkatkan layanan *broadcast*
- 6) Menggunakan penyambungan *Packet Switch (PS)* sehingga memungkinkan sistem mengadopsi IP secara menyeluruh
- 7) *Bandwidth* yang fleksibel mulai dari 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz hingga 20 MHz
- 8) Dapat bekerja di berbagai spektrum frekuensi baik berpasangan (*paired*) maupun tidak berpasangan (*unpaired*)
- 9) Dapat bekerja sama (*inter-working*) dengan sistem 3GPP maupun sistem non-3GPP yang sudah ada

2.2.1. Arsitektur Jaringan Long Term Evolution (LTE)

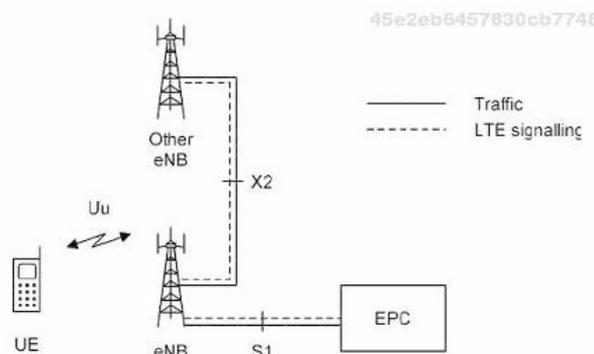
Arsitektur jaringan LTE pada layer fisik secara garis besar terdiri dari *User Equipment (UE)*, *the evolved UMTS terrestrial radio access network (E-UTRAN)* dan *evolved packet core (EPC)* (Cox, 2012). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Arsitektur Jaringan Long Term Evolution (LTE)(Cox, 2012)

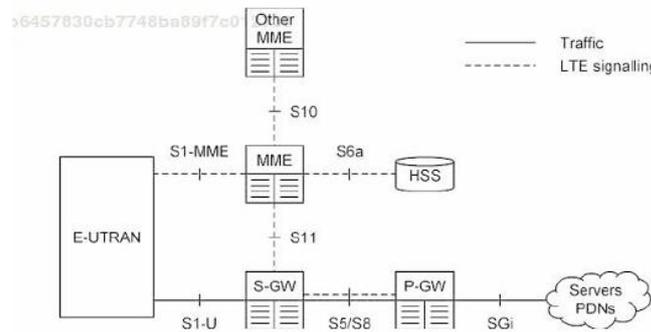
User equipment (UE) atau *mobile equipment (ME)* merupakan alat komunikasi seperti *voice mobile* atau *smartphone*. *Mobile equipment* dibagi menjadi dua komponen yaitu *mobile termination (MT)* yang menangani semua fungsi komunikasi, dan *terminal equipment (TE)* yang berfungsi mengakhiri aliran data.

Evolved UMTS terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) berfungsi menangani komunikasi radio antara *mobile equipment (ME)* dan *evolved packet core (EPC)* dan hanya mempunyai satu komponen yaitu *evolved Node B (eNB)*. eNode B adalah *base station* yang mengontrol *mobile equipment (ME)* pada satu atau lebih sel. eNB mempunyai dua fungsi, pertama yaitu mengirim transmisi radio ke ME baik arah *uplink* maupun *downlink* menggunakan fungsi proses sinyal analog dan digital dari LTE *air interface*. Fungsi yang kedua mengontrol operasi level rendah semua *mobile equipment (ME)*, dengan mengirimkan pesan sinyal seperti perintah *handover* yang berhubungan dengan transmisi radio. Dalam melaksanakan fungsinya, eNodeB mengkombinasikan fungsi pertama dan *radio network controller* (Cox, 2012). Adapun arsitektur E-UTRAN dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Arsitektur evolved UMTS terrestrial radio access network (E-UTRAN)

Komponen *Evolved Packet Core* (EPC) dapat dilihat pada gambar 7. Salah satu komponen dari EPC yaitu *home subscriber server* (HSS), merupakan pusat basis data yang berisi semua informasi mengenai pelanggan. HSS merupakan komponen kecil dari LTE yang telah dibawa oleh UMTS dan GSM(Cox, 2012).



Gambar 7. Komponen utama *evolved packet core*

Packet data network (PDN) *gateway* (P-GW) merupakan titik yang menghubungkan dunia luar. Melalui *interface* SGI, setiap PDN *gateway* tukar menukar data dengan asatu atau lebih *external devices* atau *packet data networks*, seperti server server jaringan operator, internet atau subsistem IP multimedia. Setiap paket data *network* diidentifikasi oleh *access point name* (APN). Operator jaringan secara khusus menggunakan sedikit APN, misalnya satu untuk server yang dimilikinya dan satu untuk internet(Cox, 2012).

Serving Gateway (S-GW) berfungsi sebagai *router*, dan meneruskan data antara *base station* dan PDN *gateway*. *Mobility management entity* (MME) bertugas mengontrol operasi level tinggi dari *mobile* dengan mengirimkan signalling seperti keamanan dan manajemen aliran data yang tidak berhubungan dengan komunikasi radio.(Cox, 2012)

2.2.2. Alokasi Spektrum Frekuensi LTE

Berdasarkan spesifikasi 3GPP *mobile* dan *base station* diperbolehkan menggunakan sejumlah *band* frekuensi(Cox, 2012).

Tabel 1. Pita frekuensi FDD

Band	Release	Uplink band (MHz)	Downlink band (MHz)	Main regions	Notes
1	R99	1920–1980	2110–2170	Europe, Asia, Africa	WCDMA
2	R99	1850–1910	1930–1990	Americas	GSM 1900, CDMA
3	R5	1710–1785	1805–1880	Europe, Asia, Africa	GSM 1800
4	R6	1710–1755	2110–2155	Americas	
5	R6	824–849	869–894	Americas	GSM 850, CDMA
6	–	–	–	–	Not used by LTE
7	R7	2500–2570	2620–2690	Europe	
8	R7	880–915	925–960	Europe, Asia, Africa	GSM 900
9	R7	1749.9–1784.9	1844.9–1879.9	Japan	
10	R7	1710–1770	2110–2170	Americas	
11	R8	1427.9–1447.9	1475.9–1495.9	Japan	
12	R8	699–716	729–746	USA	Digital dividend
13	R8	777–787	746–756	USA	Digital dividend
14	R8	788–798	758–768	USA	Digital dividend
15	–	–	–	–	Not used by 3GPP
16	–	–	–	–	Not used by 3GPP
17	R8	704–716	734–746	USA	Digital dividend
18	R9	815–830	860–875	Japan	
19	R9	830–845	875–890	Japan	
20	R9	832–862	791–821	Europe	Digital dividend
21	R9	1447.9–1462.9	1495.9–1510.9	Japan	
22	R10	3410–3490	3510–3590	Europe	
23	R10	2000–2020	2180–2200	North America	
24	R10	1626.5–1660.5	1525–1559	North America	
25	R10	1850–1915	1930–1995	Americas	

Sumber: ETSI

Tabel 2. Pita frekuensi TDD

Band	Release	Frequency band (MHz)	Main regions
33	R99	1900–1920	Europe, Asia
34	R99	2010–2025	Europe, Asia
35	R99	1850–1910	Americas
36	R99	1930–1990	Americas
37	R99	1910–1930	Americas
38	R7	2570–2620	Europe
39	R8	1880–1920	China
40	R8	2300–2400	China
41	R10	2496–2690	USA
42	R10	3400–3600	Europe
43	R10	3600–3800	Europe

Sumber: ETSI

2.2.3. Penataan Alokasi Spektrum Frekuensi di Indonesia

Berdasarkan data statistika Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia tahun 2011, Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia diturunkan dari Alokasi Frekuensi Peraturan Radio edisi 2008 (*Radio Regulations, edition of 2008*) dan *Final Act-World Radio communication Conference (WRC 2007)* dengan memperhatikan :

- a. Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia ;
- b. Penggunaan spektrum frekuensi di Indonesia, serta perencanaan baru yang dirancang lebih efisien dengan memperhatikan perkembangan teknologi dunia dan nasional.

Berdasarkan Peraturan Menteri No.29 tahun 2009 mengenai Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio di Indonesia, yang mengacu kepada ITU *Radio Regulation*, edisi 2008, maka alokasi spektrum frekuensi radio di Indonesia diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Alokasi Spektrum Frekuensi di Indonesia (Permen Kominfo,2009)

ALOKASI FREKUENSI (MHz)	DINAS KOMUNIKASI RADIO	CATATAN KAKI ITU RR	CATATAN KAKI INDONESIA
450-455	TETAP BERGERAK BERGERAK-SATELIT (Bumi-ke-angkasa)	5,209 5,271 5,286 5,286A 5,286B 5,286C 5,286D	INS 12
455-456	TETAP BERGERAK BERGERAK-SATELIT (Bumi-ke-angkasa)	5,209 5,271 5,286A 5,286B 5,286C	INS 12
456-459	TETAP BERGERAK	5,271 5,287 5,288	INS 11,INS12
459-460	TETAP BERGERAK BERGERAK-SATELIT (Bumi-ke-angkasa)	5,209 5,271 5,286A 5,286B 5,286C	INS 11
460-470	TETAP BERGERAK	5,287 5,288 5,289 5,290	INS 11,INS12
470 – 585	TETAP, BERGERAK, SIARAN	5,291 5,298	INS 12
585 – 610	TETAP, BERGERAK, SIARAN, RADIO NAVIGASI	5,149 5,305 5,306 5,307	INS 12
610 – 806	SIARAN, BERGERAK	5,149 5,305 5,306 5,307 5,311	INS 12
806 – 890	TETAP, BERGERAK	5,149 5,305 5,306 5,307 5,311	INS 13,INS 14
890 – 960	TETAP, BERGERAK	5,317A	INS 15
1710 – 1930	TETAP, BERGERAK, OPERASI RUANG ANGKASA, PENELITIAN RUANG ANGKASA	5,380 5,384A 5,388A 5,388B 5,149 5,341 5,385 5,386 5,387 5,388	INS 18,INS 19,INS 20
1930 – 1980	TETAP, BERGERAK	5,388A 5,388B 5,388	INS 20
1980 – 2010	TETAP, BERGERAK, BERGERAK SATELIT (Bumi ke angkasa)	5,351A 5,388 5,389A 5,389B 5,389F	INS 21
2110 – 2120	TETAP, BERGERAK, PENELITIAN RUANG ANGKASA (Bumi ke Angkasa)	5,388A 5,388B 5,388	INS 20
2120 – 2170	TETAP, BERGERAK	5,388A 5,388B 5,388	INS 20
2300 - 2450	TETAP, BERGERAK, RADIOLOKASI, Amatir	5,150 5,282 5,393 5,394 5,396	INS 23,INS 24
2500 – 2520	TETAP, TETAP-SATELIT, BERGERAK kecuali bergerak penerbangan, BERGERAK SATELIT (angkasa ke Bumi)	5,409 5,411, 5,415, 5,384A 5,351A 5,403 5,403 5,404 5,407 5,414	INS 25
2520 – 2535	TETAP, TETAP-SATELIT, BERGERAK kecuali bergerak penerbangan, SIARAN SATELIT	5,409 5,411, 5,415, 5,384A 5,413 5,416 5,403 5,415A	INS 26
2535 – 2655	TETAP, BERGERAK kecuali bergerak penerbangan, SIARAN	5,409 5,411 5,384A 5,413	INS 26

Penggunaan spektrum frekuensi 1800 MHz di Indonesia dialokasikan pada pita 1710-1785 MHz berpasangan dengan 1805-1880 MHz dialokasikan untuk penyelenggaraan telekomunikasi bergerak seluler dan diidentifikasi untuk IMT (hasil WRC 2003) yaitu masing-masing untuk *uplink* dan *downlink*. Selain itu, catatan kaki INS20 juga menyatakan bahwa pita frekuensi 1710-1885 MHz dialokasikan untuk penyelenggaraan telekomunikasi bergerak seluler dan diidentifikasi untuk IMT (hasil WRC 2003). Pembagian alokasi untuk spektrum frekuensi 1800 MHz menurut penguasaan dan penggunaannya disajikan pada tabel 4. Dari alokasi penguasaan pita frekuensi pada rentang pita 1710 MHz sampai 1885 MHz diduduki oleh empat operator seluler, yaitu PT XL-Axis, PT Indosat, PT Telkomsel, dan PT Hutchinson 3 Indonesia.

Tabel 4. Kepemilikan dan Masa Berlaku spektrum Frekuensi 1800 MHz (Jenderal, Daya, Perangkat, & Informatika, 2013)

Pita Frekuensi (MHz)	Operator	Masa Lisensi
1710 – 1717.5 (UL) / 1805 – 1812.5 (DL)	XL	2010-2020
1717.5 – 1722.5 (UL) / 1812.5 – 1817.5 (DL)	Indosat	2010-2020
1722.5 – 1730 (UL) / 1817.5 – 1825 (DL)	Telkomsel	2010-2020
1730 – 1745 (UL) / 1825 – 1840 (DL)	AXIS	2010-2020
1745 – 1750 (UL) / 1840 – 1845(DL)	Telkomsel	2010-2020
1750 – 1765 (UL) / 1845 – 1860 (DL)	Indosat	2010-2020
1765 – 1775 (UL) / 1860 – 1870 (DL)	Telkomsel	2010-2020
1775 – 1785 (UL) / 1870 – 1880 (DL)	HCPT	2010-2020

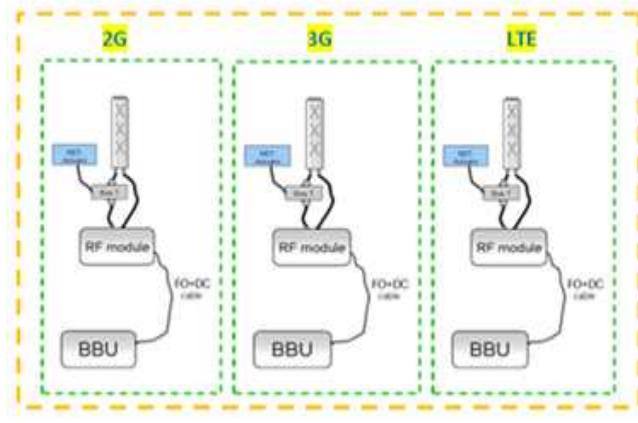
PT. XL Axiata menduduki pita frekuensi 1770 MHz sampa 1717,5 MHz untuk *uplink* yang berpasangan dengan pita frekuensi 1805 MHz sampai 1812.5 MHz untuk *downlink*-nya dengan *bandwidth* sebesar 7.5MHz FDD. PT. Indosat menguasai dua blok pita frekuensi untuk *uplink* yaitu pita frekuensi 1717,5 MHz sampai 1722,5 MHz dan band pita frekuensi 1750 MHz sampai 1765 MHz. Sementara untuk *downlink*-nya juga menggunakan dua blok pita frekuensi yaitu 1812,5 MHz sampai 1817,5 MHz dan pita frekuensi 1845 MHz sampai 1860 MHz, atau secara total menduduki 22 MHz FDD. PT.Telkomsel menguasai pita terlebar yaitu total 22.5 MHz FDD. dimana masing-masing dua blok pita frekuensi untuk up link dan tiga blok pita frekuensi untuk downlink. Untuk up link digunakan pita frekuensi 1722,5 MHz sampai 1730 MHz dan pita frekuensi 1745 MHz sampai 1750 MHz, sementara untuk *downlink*-nya menggunakan pita frekuensi 1817,5 MHz sampai 1825 MHz, pita frekuensi 1840 MHz sampai 1845 MHz dan pita frekuensi 1860 MHz sampai 1870 MHz. PT AXIS meskipun hanya menggunakan masing-masing satu blok pita frekuensi untuk up link dan *downlink*, namun menduduki 15 MHz FDD. Sedangkan PT Hutchison CP yang berganti nama menjadi Hutchison 3 Indonesia yang juga menggunakan masing-masing satu blok pita frekuensi untuk up link dan *downlink* hanya menguasai 10 MHz FDD. Dari distribusi pendudukan dan penggunaan pita frekuensi tersebut juga terlihat ada jeda antara *uplink* tertinggi dan *downlink* terendah sebesar 20 MHz. Apabila mengacu kepada catatan kaki INS 20 di atas yang menyatakan bahwa pita frekuensi 1710–1885 MHz dialokasikan untuk penyelenggaraan telekomunikasi bergerak seluler, maka masih terdapat sisa pita selebar 5 MHz di atas *downlink* tertinggi yang sudah dimiliki operator (1880). Jeda yang ada ini diantaranya digunakan untuk separasi frekuensi atau untuk *guard band*.

2.2.4. Refarming Frekuensi

Penataan ulang (*refarming*) spektrum dapat menjadi solusi keterbatasan frekuensi yang dialami para operator seluler. Refarming Frekuensi merupakan tata ulang frekuensi yang ada, untuk digunakan menyelenggarakan layanan *broadband* seperti 3G dan 4G atau *Long Term Evolution* (LTE). Beberapa

saluran frekuensi yang tersedia misalnya di 700 megahertz (MHz), 900 MHz, 1.800 MHz, 2.100 MHz, 2.300 MHz, dan 2.600 MHz.

Skema Refarming Frekuensi didesain sebagai teknik penggabungan beberapa jaringan nirkabel existing 2G, 3G, dan jaringan baru LTE sehingga operator 2G/3G dapat mengurangi biaya operasional dan belanja modal (CAPEX/OPEX) (Perdana, 2012). Hal ini dapat dilakukan karena dengan skema *Refarming* Frekuensi, operator telekomunikasi nirkabel di Indonesia dalam implementasi teknologi baru (LTE) tidak memerlukan power, transmisi tambahan, dan dapat menghemat *space* untuk penempatan kabinet baru serta dapat lebih memudahkan operator telekomunikasi dalam melakukan operation dan *maintenance* perangkat dan menjaga *performance* perangkat (Perdana, 2012). Dengan skema *Refarming* Frekuensi, dapat memudahkan operator telekomunikasi dalam melakukan ekspansi jaringan nirkabel eksisting (jaringan 2G dan 3G).



Gambar 8. Skema *Refarming* Frekuensi 1800 MHz (Perdana, 2012)

2.2.5. Perencanaan Skema *Refarming* Frekuensi

Dimensioning Jaringan dilakukan dengan melakukan optimasi di sisi kapasitas dan jangkauan berdasarkan hasil yang diperoleh dari ketiga faktor sesuai blok diagram. Keluaran yang diperoleh berupa jumlah kebutuhan peralatan yang akan diimplementasikan. *Capacity estimation*, digunakan untuk mengetahui jumlah *base station/eNodeB* yang dibutuhkan untuk mampu menangani trafik dan wilayah cakupan area yang ada (Perdana D., 2012 dan Prasetyo Anang, 2011).

Capacity Estimation 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 (Perdana D., 2012 dan Prasetyo Anang, 2011).

LTE 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 (Prasetyo Anang, 2011):

$$Data\ rate = 12\ subcarrier \times 7\ symbol\ OFDM \times 100\ RB \times 2\ slot \times code\ rate \times Modulation\ bit \times (100\% - 20\%) \times overhead \times gain\ MIMO \dots\dots(1)$$

Setelah diperoleh *data rate per MCS*, kemudian dapat ditentukan *data rate* yang ada dalam satu sel dengan menggunakan persamaan berikut (Perdana D., 2012 dan Prasetyo Anang, 2011):

$$cell\ throughput = (SINR\ probability \times Throughput\ SINR) \dots\dots(2)$$

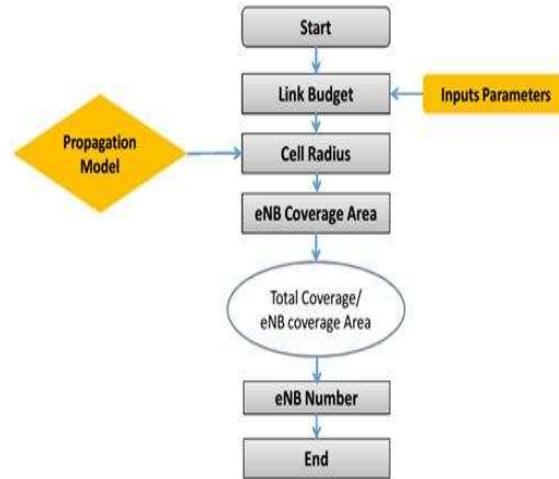
SINR Probability yaitu presentasi kemungkinan sebaran SINR yang identik dengan MCS yang bersangkutan. *SINR probability* diperoleh dari perbandingan luas wilayah cakupan masing-masing MCS.

2.2.6. LTE Network Planning

LTE network planning berfungsi untuk menentukan jumlah eNodeB yang diperlukan untuk menggelar jaringan LTE. LTE network planning terdiri dari *coverage planning* dan *capaciity dimensioning*.

a. Coverage Planning

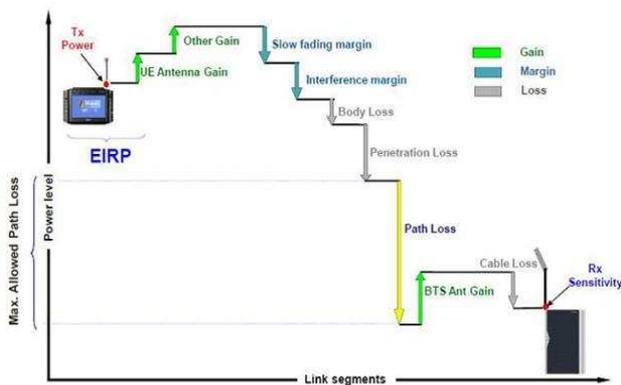
Proses *coverage planning* digunakan untuk memperoleh jumlah eNodeB yang dibutuhkan untuk membangun LTE. Tahap pertama dalam melakukan *coverage planning* yaitu melakukan *link budget* dengan memasukkan parameter-parameter yang diperlukan. Selanjutnya menentukan besarnya radius sel dengan menentukan propagasi yang digunakan. Setelah itu menghitung besarnya luas sel, yang kemudian digunakan untuk memperoleh jumlah eNodeB yang digunakan. Proses *coverage planning* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 9.



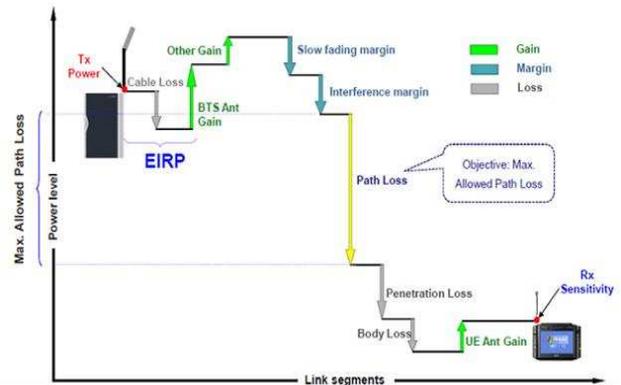
Gambar 9. Diagram Alir *Coverage Planning*(Asp, Training, & Broadband, 2013)

b. *Link Budget*

Link budget terdiri dari dua yaitu arah *uplink* (UE ke eNodeB) dan *downlink* (enodeB ke UE). Parameter-parameter yang digunakan untuk arah *uplink* meliputi daya pancar *User Equipment* (UE), penguatan antena, *body loss*, *Noise Figure* penerima (eNodeB), *Receiver Noise*, *SINR*, *Fade Margin*, *Interference Margin*, penguatan antena penerima dan *feeder loss*. Sedangkan pada arah *downlink*, parameter yang digunakan meliputi daya transmit (eNodeB), gain antenna eNodeB, *cable loss*, *Noise Figure* penerima (UE), *receiver noise*, *SINR*, *Fade Margin*, *Interference Margin*, *Rx Antenna gain*(dB) dan *Body Loss*. Adapun ilustrasi *link budget* dapat dilihat pada gambar 10 untuk arah *uplink* dan gambar 11 untuk arah *downlink*.



Gambar 10. Proses *Link Budget* untuk arah *uplink*



Gambar 11. Proses *Link Budget* untuk arah *downlink*

Proses *link budget* baik untuk arah *uplink* maupun *downlink* digunakan untuk memperoleh nilai *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL). MAPL merupakan maksimal *path loss* (redaman) yang diijinkan antara *transmitter* ke *receiver*.

c. *Cell radius*

Setelah diperoleh MAPL, maka cell radius akan bisa diperoleh dengan memasukkan model propagasi sesuai frekuensi yang digunakan. Frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1800 MHz. Model

propagasi yang sesuai adalah cost-231 karena cocok digunakan untuk frekuensi 1500 MHz -2000 MHz. Adapun model propagasi cost-231 adalah sebagai berikut:(Molisch, 2011)

$$L_p(\text{dB})=A+B \log_{10}(d) + C \dots\dots\dots(3)$$

Dimana

$$A= 46.3+33.9 \log_{10}(f_c) - 13.28 \log_{10}(h_b) -a(h_m) \dots\dots\dots(4)$$

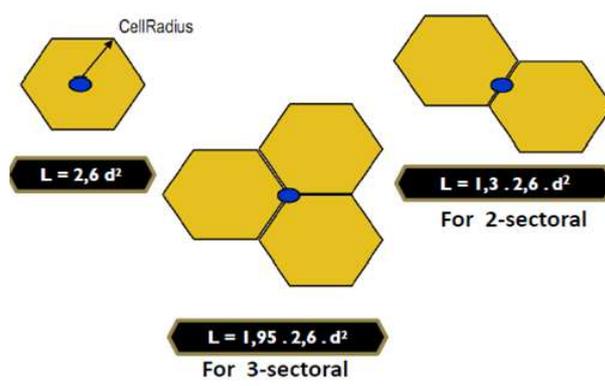
$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b) \dots\dots\dots(5)$$

$$a(h_{MS}) = \begin{cases} 3.2[\lg(11.75h_{MS})]^2 - 4.97 & DU,U \\ [1.1\lg(f) - 0.7]h_{MS} - [1.56\lg(f) - 0.8] & SU \end{cases} \dots\dots\dots(6)$$

$$CM = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{For rural and suburban} \\ 3 \text{ dB} & \text{For Dense Urban and Urban} \end{cases} \dots\dots\dots(7)$$

d. eNodeB Coverage Area

Luas cell atau cakupan eNodeB diperoleh setelah mendapatkan nilai radius sel. Persamaan untuk mendapatkan luas cakupan eNodeB disajikan pada Gambar 12:



Gambar 12. Persamaan untuk menghitung Luas sel(Floatway Learning Center, 2014)

Antena yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tiga sektor, sehingga persamaan untuk memperoleh luas sel dengan persamaan sebagai berikut:

$$L=1,95 \times 2,6 \times d^2 \dots\dots\dots(8)$$

dimana d merupakan radius sel.

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

$$N_{eNB} = A/A_{site} \dots\dots\dots(9)$$

A merupakan luas area yang akan dilayani.

e. Capacity Dimensioning

LTE Capacity dimensioning digunakan untuk memperoleh jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan LTE. Diagram alir proses capacity dimensioning dapat dilihat pada gambar 7.

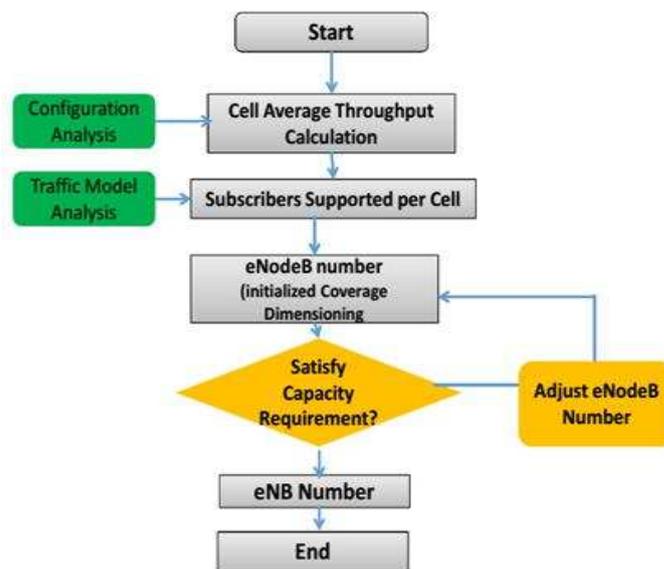
Proses LTE capacity dimensioning meliputi;

1). Perhitungan cell average throuhput dengan persamaan sebagai berikut:

$$Cell\ average\ Throughput = cell\ bandwidth \times spectral\ efficient \dots\dots\dots(10)$$

2). Subscriber supported per cell

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



Gambar 13. Diagram Alir LTE Capacity Dimensioning(Asp et al., 2013)

Langkah – langkah *capacity dimensioning* untuk lebih jelasnya sebagai berikut(Asp et al., 2013):

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

f. Jumlah eNodeB

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

2.2.7. Cost Benefit Analysis

Proyek didefinisikan operasi yang terdiri dari serangkaian pekerjaan, aktivitas atau layanan yang bertujuan untuk menyelesaikan tugas terpisah yang bersifat ekonomis atau teknik secara tepat; mempunyai tujuan yang baik(Hubner, 2008).Kebutuhan penilaian berfokus pada keseluruhan proyek sebagai units tersendiri dan bukan fragmen atau bagian dari proyek itu. Pemisahan proyek semata karena alasan adiminsitrasi, bukan obyek sesuai penilaian. Untuk mengetahui suatu proyek layak dijalankan atau tidak perlu dilakukan analisis kelayakan salah satunya yaitu menggunakan *cost-benefit analysis* (CBA). *Cost-benefit analysis* merupakan metode untuk mengorganisasi informasi guna memperoleh keputusan mengenai alokasi sumberdaya. Kekuatan sebagai alat analisis mempunyai dua fitur utama yaitu: (Group, 2006)

- a. Biaya dan manfaat disajikan sejauh mungkin dalam bentuk uang karena dibandingkan satu sama lain
- b. Biaya dan manfaat bernilai dinilai dalam hal klaim yang mereka buat dan keuntungan yang mereka berikan kepada masyarakat secara keseluruhan

Cost-benefit analysis memberikan panduan untuk efisiensi alokasi sumber daya pada suatu area dengan banyak sektor dimana tidak ada pasar yang menyediakan informasi secara otomatis(Group, 2006).

Analisis biaya manfaat berguna dimana ada alasan ketidakpercayaan pada harga pasar, sebagai contoh *input* relatif dibawah biaya atau *output* terlalu mahal.

Analisis biaya manfaat juga membantu tanpa terjadi transaksi komersial, proyek proyek membebankan biaya dan manfaat pada pihak ke tiga. Akhirnya metode berguna ketika proyek berskala besar sepenuhnya menyadari efek ekonomi yang lebih luas.

Cost-benefit analysis memberikan pembuat keputusan pilihan perbandingan yang terukur, bersama dengan informasi pendukung untuk setiap biaya dan manfaat yang tidak terukur. CBA berfungsi membantu untuk membuat keputusan. Namun, analisis biaya-manfaat tidak menggantikan kebutuhan untuk penilaian yang baik berdasarkan berbagai pertimbangan. CBA digunakan berbagai cara yang dapat membantu pemerintah untuk (Group, 2006):

- a. Memutuskan apakah proyek yang diajukan program harus dilakukan
- b. Memutuskan apakah proyek yang ada atau program harus dilanjutkan
- c. Memilih antara alternatif proyek dan beberapa program
- d. Memilih skala dan waktu proyek yang tepat
- e. Menentukan peraturan yang mempengaruhi sektor swasta

Konsep dasar *cost benefit analysis* meliputi:

- a. *Opportunity cost* : sumber daya yang dinilai terhadap penggunaan alternatif terbaik yang berada pada diatas atau dibawah harga produksi. *Opportunity cost* bisa diartikan juga biaya yang dikeluarkan ketika memilih suatu kegiatan
- b. Kesediaan untuk membayar: *Output* yang dinilai pada apakah konsumen bersedia untuk membelinya
- c. Aturan biaya dan manfaat: tunduk pada anggaran dan kendala lainnya serta pertimbangan keadilan

Proses *Cost-Benefit Analysis* meliputi(Group, 2006):

- a. Menentukan permasalahan
Langkah pertama dalam melakukan investigasi dan penilaian suatu permasalahan yaitu menentukan latar belakang, yang menempatkan proyek dalam konteks luas sebelum mempersempit fokus ke proyek atau program itu sendiri. Langkah ini termasuk mendefinisikan tujuan proyek atau program dan mengidentifikasi siapa yang memperoleh keuntungan.
- b. Menentukan kendala
Kendala dalam mencapai tujuan perlu diidentifikasi untuk memastikan bahwa semua alternatif diuji dalam analisis yang layak. Kendala dapat berupa:
 - 1) Keuangan (contoh: anggaran yang terbatas, *price ceiling* dan *price floor*)
 - 2) *Price ceiling* merupakan harga maksimum yang ditetapkan pemerintah agar konsumen dapat menjangkau harga suatu barang atau jasa(Taylor, 2006).
 - 3) *Price floor* merupakan harga minimum yang ditetapkan karena barang dan jasa yang dijual di pasar tidak adil atau terlalu rendah sehingga produsen memerlukan bantuan(Andrew Young School, 2006).
 - 4) Distribusi
 - 5) Managerial (sebagai contoh terbatasnya jumlah dan kualitas staff yang tersedia
 - 6) Lingkungan (sebagai contoh, standard perlindungan lingkungan yang harus dipenuhi)
- c. Menentukan alternatif
- d. Mengidentifikasi *cost* dan *benefit*
Contoh dari *cost* meliputi:
 - 1) *Capital expenditure*;
 - 2) *Operational* dan *maintenance* pada seluruh umur proyek;
 - 3) Biaya tenaga kerja;
 - 4) Biaya input lainnya (material, barang-barang manufaktur, transportasi dan penyimpanan);
 - 5) Biaya penelitian, disain dan pengembangan;
 - 6) *Opportunity cost* yang berhubungan dengan penggunaan tanah atau fasilitas di dalam domain publik;
 - 7) Efek yang merugikan pihak lain (contoh: biaya lingkungan yang terkena polusi udara dan gangguan kebisingan)

Contoh *benefit* meliputi:

- 1) *Revenue* dari proyek
- 2) Nilai dari peralatan modal proyek
- 3) Biaya yang dihindari, yaitu biaya yang seharusnya dikeluarkan tapi tidak dikeluarkan
- 4) Tabungan produktifitas – pengurangan belanja proyek atau program
- 5) Kesehatan, lingkungan dan keuntungan sosial lainnya yang tidak dipasarkan atau digolongkan harga dari nilai keuntungan penuh
- 6) Pengurangan pengangguran

e. Menghitung nilai *cost* dan *benefit*

Cost-benefit analysis membandingkan *cost* dan *benefit* menggunakan ukuran umum yaitu dolar atau rupiah. Adapun yang dihitung dalam *cost-benefit analysis* adalah sebagai berikut:

- 1) Nilai *output* akhir
- 2) Nilai *input* fisik
- 3) Bunga modal yang dipinjam
- 4) Depresiasi /penyusutan
- 5) Tanah

f. Menghitung *net present value*

Net present value (NPV) merupakan dasar pembuat keputusan dalam *cost-benefit analysis*. Standard untuk menilai *cost* dan *benefit* yang terjadi pada waktu yang berbeda didasarkan pada fakta bahwa dolar/rupiah sekarang lebih berharga dari pada dolar/rupiah tahun depan. Misalnya seseorang berkeinginan untuk menghabiskan uangnya. Jika uang tersebut diterima tahun depan, akan lebih berharga jika uang tersebut disimpan dan akan diperoleh keuntungan karena dolar/rupiah tahun depan bernilai lebih dari 1 dollar.

dapat diperoleh dari persamaan berikut ini:

$$NPV = \sum_{t=0}^t \frac{(B_t - C_t)}{(1 + r)^t} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana B_t merupakan *benefit* yang diterima dalam t tahun, t menunjukkan tahun, r merupakan *discount rate*, C menunjukkan *cash flow*.

g. Tes sensitivitas untuk ketidakpastian

Tes sensitivitas adalah prosedur sederhana untuk membuat keputusan dengan informasi mengenai pengaruh kesalahan-kesalahan estimasi pada kelangsungan hidup proyek. Langkah pertama sensitivitas analisis adalah mengganti kemungkinan estimasi untuk tiap variable penting secara simultan dan mengestimasi net present value yang sudah direvisi. Jika nilai estimasi masih positif, kita dapat mengatakan bahwa proyek menghasilkan keuntungan sosial. Sehingga tidak diperlukan analisis sensitivitas. Namun jika estimasi NPV turun menjadi nol, proyek tersebut beresiko, setidaknya sampai waktu tertentu. Langkah ke dua adalah untuk menilai seberapa besar resiko proyek dan variabel mana yang berpengaruh signifikan terhadap *net present value*. Salah satu cara melakukannya adakah mengubah variabel dalam satu waktu, berpegang pada semua variabel lain yang mempunyai nilai estimasi terbaik. Namun pada beberapa kasus yang berkorelasi, pendekatan terbaik akan memindahkan variabel ini bersama-sama. Proses yang lebih kompleks yaitu menentukan variabel yang sangat penting untuk ketahanan estimasi NPV. Nilai variabel dimana NPV berubah dari positif ke negatif disebut sebagai *switching value*(Group, 2006).

h. Mempertimbangkan isu-isu keadilan dan yang tidak berwujud

Tahapan *cost-benefit analysis* dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Tahapan *cost-benefit analysis*(Group, 2006)

3. Metode Penelitian

3.1. Pendekatan Penelitian

Untuk mengetahui gambaran bagaimana pemanfaatan frekuensi 1.8 GHz, penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif. Sementara untuk mengetahui bagaimana kelayakan teknologi LTE pada frekuensi 1.8 GHz menggunakan pendekatan kuantitatif.

3.2. Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan dengan teknik penelitian dengan metode kualitatif didukung dengan data kuantitatif. Data kualitatif diperoleh dari *Focus Group Discussion* dan *in depth interview* kepada operator seluler sedangkan data kuantitatif diperoleh dari pembagian kuesioner kepada operator seluler dan studi literatur.

3.3. Responden

Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari informan yaitu operator seluler yang menggunakan frekuensi 1.8 GHz, regulator dari Direktorat Penataan Ditjen SDPP dan Vendor perangkat telekomunikasi.

3.4. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Jakarta dengan pertimbangan operator seluler, vendor, regulator sebagian besar berada di Jakarta. Kami juga melakukan penelitian di Bandung untuk memperoleh data baik primer maupun sekunder dari operator seluler maupun dari perpustakaan di Universitas Telkom Bandung.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu data primer maupun sekunder. Data primer diperoleh dari Focus Group Discussion dengan operator seluler yang menggunakan frekuensi 1.8 GHz yaitu PT.Telkomsel, PT. Indosat, PT.XL Axiata dan PT. Hutchison 3 Indonesia. Diundang pula informan dari salah satu vendor yaitu PT. Huawei Technical Investment. Selain itu regulator dari Direktorat Penataan SDPPI, Kementerian Komunikasi dan Informatika. Selain menggunakan FGD, dilakukan *interview* pada operator seluler untuk memperoleh data sekunder yang lebih komprehensif. Data sekunder diperoleh pula dari studi literatur..

3.6. Teknik Analisis

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis tekno-ekonomi. Secara teknis, dilakukan perhitungan link budget untuk selanjutnya mengetahui jumlah site yang diperlukan untuk menerapkan teknologi *Long Term Evolution*. Setelah itu dilakukan analisis ekonomi yaitu *cost-benefit analysis* untuk menentukan apakah teknologi LTE layak digunakan atau tidak.

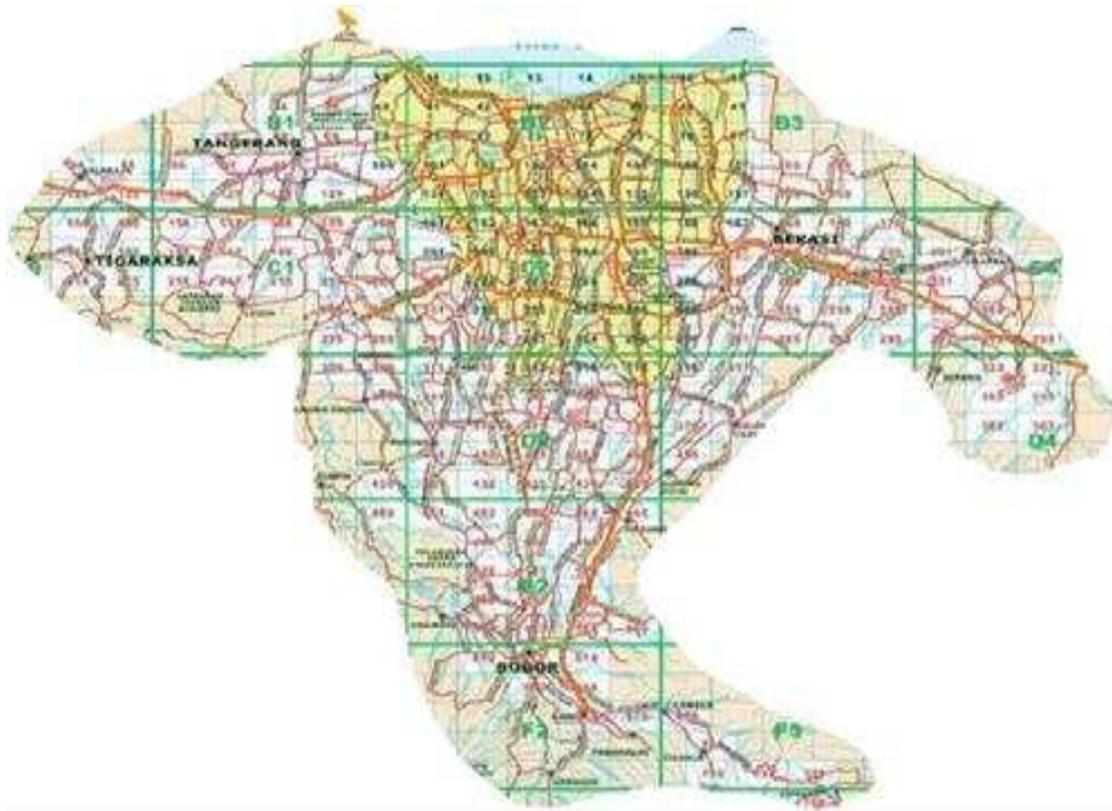
Adapun alur penelitian dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 9. Pada gambar tersebut menjelaskan bahwa pertama-tama menentukan area untuk perencanaan jaringan. Kemudian menentukan alokasi frekuensi, lebar pita yang digunakan dan estimasi jumlah pelanggan. Selanjutnya melakukan *coverage planning* 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. Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya dan keuntungan untuk melakukan *cost-benefit analysis*. Dari hasil perhitungan *cost-benefit* tersebut diperoleh *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.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Rencana daerah pembangunan LTE pada penelitian ini pada wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi dan Bandung. Pemilihan wilayah tersebut dengan pertimbangan merupakan kota besar, mempunyai penduduk yang padat, dan pengguna mobile data yang cukup banyak. Dengan demikian apabila diterapkan teknologi LTE, kemungkinan penduduk Jabodetabek lebih tertarik jika dibandingkan dengan penduduk daerah lain.

Gambar 15 menunjukkan peta Jabodetabek dan Gambar 16 menunjukkan Peta Wilayah Bandung objek penelitian ini. Luas wilayah, populasi, kepadatan penduduk dan tipe area dapat dilihat pada tabel 5 dan 6. Adapun klasifikasi tipe area dapat dilihat pada tabel 7.



Gambar 15. Peta Wilayah Jabodetabek



Gambar 16. Peta Wilayah Bandung

Tabel 5. Luas, Populasi, Kepadatan Penduduk dan Type Area Jabodetabek

AREA JABODETABEK	LUAS (Km2)	POPULASI	KEPADATAN PENDUDUK	TYPE
KOTA ADM. JAKARTA PUSAT	52.3	1049000	2.005.736.138	DENSE URBAN
KOTA ADM. JAKARTA UTARA	139.99	1610796	1.150.650.761	DENSE URBAN
KOTA ADM. JAKARTA BARAT	124.44	2171217	174.479.026	DENSE URBAN
KOTA ADM. JAKARTA SELATAN	154.32	2027389	131.375.648	DENSE URBAN
KOTA ADM. JAKARTA TIMUR	182.7	2721996	1.489.871.921	DENSE URBAN
KOTA DEPOK	200.29	1588582	7.931.409.456	DENSE URBAN
KAB BEKASI	1224.88	2377209	1.940.768.892	SUB URBAN
KOTA BOGOR	118.5	802862	6.775.206.751	DENSE URBAN
KOTA TANGERANG SELATAN	147.19	1224655	8.320.232.353	DENSE URBAN

Tabel 6. Luas, Populasi, Kepadatan Penduduk dan Type Area Bandung

AREA BANDUNG	LUAS (Km2)	POPULASI	KEPADATAN PENDUDUK	TYPE
KAB BANDUNG	1767.96	3064366	1.733.277.902	SUB URBAN
KOTA BANDUNG	167.67	2182661	1.301.760.005	DENSE URBAN

Tabel 7. Klasifikasi Type area

Kepadatan Penduduk	Type Area
0 – 300 penduduk/Km ²	Rural
300 – 3000 penduduk/Km ²	Sub urban
3000 – 6500 penduduk/Km ²	Urban
≥ 6500 penduduk/Km ²	Dense urban

Sumber : (J. Scott Marcus, John Burns, Val Jervis, Reinhard Wahlen, Kenneth R. Carter, Imme Philbeck, 2010)

Berdasarkan tabel 5, 6 dan 7, diperoleh total luas area dan populasi untuk daerah *dense urban* dan sub urban pada area Jabodetabek dan Bandung yang disajikan pada tabel 8 dan 9. Pada tabel 8 terlihat bahwa sebanyak 61.24% penduduk Jabodetabek berada pada daerah *dense urban*. Sedangkan sisanya sebanyak 38.76% berada pada daerah sub urban. Sedangkan pada tabel 9 menunjukkan bahwa sebagian besar penduduk untuk wilayah Bandung berada pada daerah sub urban, yaitu sebesar 67.4%. Sedangkan sisanya, sebesar 32.6% berada pada daerah *dense urban*.

Tabel 8. Type area, luas, populasi, kepadatan penduduk dan prosentase penduduk untuk area Jabodetabek

JABODETABEK	LUAS (Km2)	POPULASI	KEPADATAN PENDUDUK	PROSENTASE PENDUDUK
DENSE URBAN	1119,73	13196497	1.178.542.774	84,74%
SUB URBAN	1224,88	2377209	1.940.768.892	15,26%
TOTAL	1224,88	15573706	3.119.311.666	100,00%

Tabel 9. Type area, luas, populasi, kepadatan penduduk dan prosentase penduduk untuk area Bandung

BANDUNG	LUAS (Km2)	POPULASI	KEPADATAN PENDUDUK	PROSENTASE PENDUDUK
DENSE URBAN	167,67	2182661	1.301.760.005	41,60%
SUB URBAN	1767,96	3064366	1.733.277.902	58,40%
TOTAL	1935,63	5247027	1.448.571.013	100,00%

Sesuai dengan alur penelitian, sebelum dilakukan *Cost-benefit Analysis* dilakukan perhitungan jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan *Long Term Evolution* pada frekuensi 1800 MHz. Untuk menentukan jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun jaringan LTE tersebut dilakukan *LTE Network Planning* meliputi *coverage planning* maupun *capacity dimensioning*.

4.1. LTE Network Planning

LTE Network Planning meliputi *coverage planning* maupun *capacity dimensioning*. Penelitian ini menggunakan beberapa skenario yaitu menggunakan bandwidth 10 MHz dan 15 MHz. Pertimbangan skenario tersebut dikarenakan pita 1800 MHz saat ini digunakan oleh GSM sehingga tidak semua bandwidth dapat digunakan.

4.2. LTE Coverage Planning

Parameter yang digunakan untuk perhitungan *link budget coverage planning* mengacu pada ETSI TS 136 104 V10.1.0 (2011-01), ECC report (ECC, 2013) dan Huawei (Huawei Technologies co.LTD, 2014). Skenario yang digunakan dalam perencanaan jaringan LTE dapat dilihat pada tabel 10. Sedangkan parameter *uplink* dan *downlink budget* dapat dilihat pada tabel 11 dan 12.

Tabel 10. Skenario Perencanaan Jaringan LTE

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

Tabel 11. Parameter *Uplink*

Parameter Transmitter (Uplink)	Value
Tx Power (dBm)	23
Antenna gain (dB)	0
Body loss (dB)	2
e.i.r.p. (dBm)	21
Bandwidth (MHz)	10
Receiver Noise= $KTB \times NF$ (dBm)	-103,987529
SINR (dB)	0,1
Sensitivity	-103,887529
Fade Margin (dB)	9
Rx antena gain (dB)	17
Feeder Loss (dB)	2

Tabel 12. Parameter *Downlink*

Parameter Downlink Transmitter (eNodeB)	Value
Tx Power (dBm)	46
Antenna gain (dB)	17
Cable loss (dB)	2
e.i.r.p. (dBm)	61
Rx Noise Figure (dB)	7
Bandwidth (MHz)	10
Receiver Noise=KTB x NF (dBm)	-103,9875291
SINR (dB)	6,7
Sensitivity	-97,28752911
Fade Margin (dB)	9
Interference margin (dB)	8
Rx antena gain (dB)	0
Body Loss (dB)	2

Tabel 13. Besarnya MAPL untuk arah *uplink* dan *downlink* pada *bandwidth* 10 MHz dan 15 MHz

Bandwidth	MAPL	
	Uplink	Downlink
10 MHz	127,88753	139,2875291
15 MHz	128,28753	138,8875291

Berdasarkan hasil *Maximum Allowable Pathloss* (MAPL) tersebut diperoleh jarak dari enodeB ke *Mobile Station* (MS) dengan masing – masing type area dense urban dan sub urban ditunjukkan pada tabel 14 berikut ini.

Tabel 14. Besarnya Jarak eNodeB ke MS untuk type dense urban dan sub urban

Bandwidth	d (Km) Uplink		d (Km) Downlink	
	Dense Urban	Sub urban	Dense Urban	Sub urban
10 MHz	0,490077692	0,603197181	1,032524795	1,044546372
15 MHz	0,503060859	0,619177116	1,005876778	1,017588093

Berdasarkan tabel 14 diatas terlihat bahwa jarak dari eNodeB ke MS untuk arah uplink maupun downlink baik bandwidth 10 MHz maupun 15 MHz, pada type dense urban lebih kecil dibanding tipe sub urban. Hal ini disebabkan adanya pengaruh redaman pada area dense urban lebih besar dibanding pada sub urban. Redaman pada daerah dense urban disebabkan antara lain pantulan dari bangunan atau gedung tinggi serta interferensi dari user lain. Jarak antar eNodeB dan MS pada arah *downlink* lebih besar dibandingkan pada arah uplink. Hal ini disebabkan daya pancar eNodeB lebih besar dibanding daya pancar *Mobile Station* (MS).

Untuk menentukan jumlah eNodeB yang diperlukan, maka digunakan jarak yang paling sedikit yaitu pada arah uplink. Sehingga Untuk arah Jabodetabek dan Bandung, diperoleh jumlah eNodeB yang dibutuhkan dapat ditunjukkan pada tabel 15.

Tabel 15. Jumlah eNodeB yang dibutuhkan untuk area Jabodetabek dan Bandung

Type	Dense Urban		Sub Urban	
	10 MHz	15 MHz	10 MHz	15 MHz
Jabodetabek	920	873	664	631
Bandung	138	131	959	910

4.3. 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 meliputi wilayah dense urban dan sub urban. Sedangkan *bandwidth* yang digunakan adalah 10 MHz dan 15 MHz. Parameter trafik mengacu pada LTE Radio Network Planning, Huawei, yang ditunjukkan pada tabel 16 dan 17.

Tabel 16. Parameter Trafik Service Model(Huawei Technologies co.LTD, n.d.)

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

Tabel 17. Model Trafik (Huawei Technologies Co.LTD, n.d.)

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

Besarnya *Peak to Average Ratio* untuk menghitung besarnya *single user throughput* untuk masing-masing tipe area yang ditunjukkan pada tabel 18.

Tabel 18. *Peak to Average Ratio* maing-masing tipe area (Huawei Technologies co.LTD, n.d.)

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

Berdasarkan parameter-parameter yang telah ditunjukkan pada tabel 16,17 dan 18 maka diperoleh *single user throughput* untuk masing-masing tipe ditunjukkan pada tabel 19.

Tabel 19. *Single user throughput* untuk masing-masing tipe area

Single User Throughput in Busy Hour (IP) (Kbps)	Dense Urban		Urban		Sub urban		Rural	
	UL(Kbit)	DL(Kbit)	UL(Kbit)	DL(Kbit)	UL(Kbit)	DL(Kbit)	UL(Kbit)	DL(Kbit)
	10,80178878	44,77234175	9,508812323	36,3784835	5,54155756	19,6750264	1,217450463	5,7051805

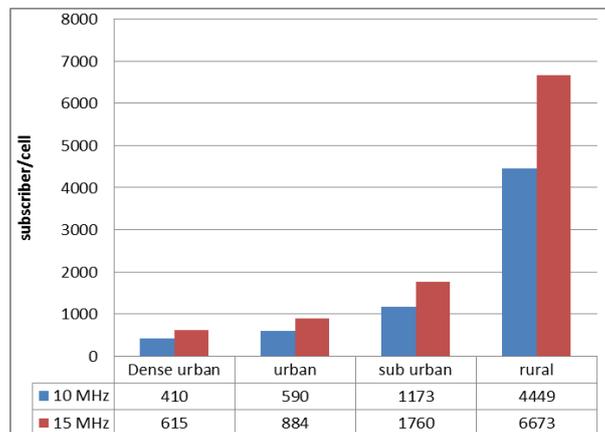
Parameter lain yang digunakan untuk perhitungan *capacity planning* adalah sebagai berikut:

- Jumlah sector per site = 3
- Spectral efficiency = 1.74 bps/Hz/cell (Huawei Technologies co.LTD, n.d.)
- Design Downlink Cell loading sebesar 50%(Huawei Technologies co.LTD, n.d.)
- Antena yang digunakan MIMO 2 x 2
- Downlink cell average capacity dapat dilihat pada tabel 20.

Tabel 20. Downlink cell average capacity (Mbps)

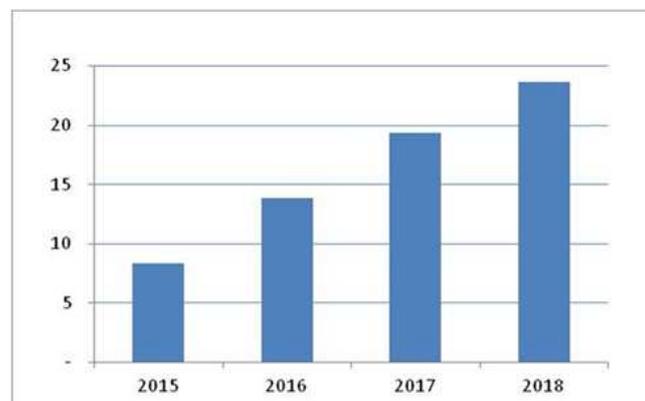
Bandwidth	Dense urban	urban	sub urban	rural
10 MHz	17,4399724	17,43997	17,1999736	17,19997
15 MHz	26,1599724	26,15997	25,7999736	25,79997

Berdasarkan hasil perhitungan capacity planning diperoleh jumlah *user per cell* yang ditunjukkan pada gambar 14. Berdasarkan gambar 14 tersebut terlihat bahwa kapasitas user per *cell* untuk *bandwidth* 15 MHz lebih besar dibandingkan *bandwidth* 10 MHz.



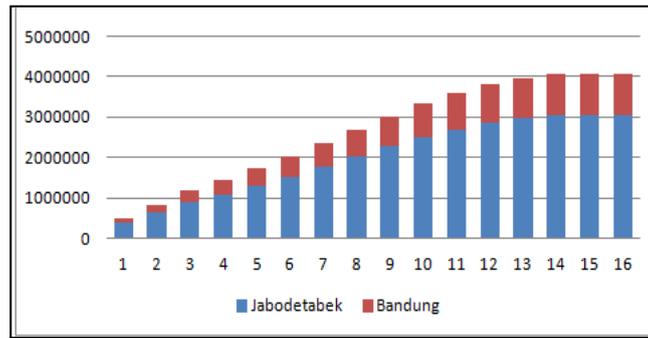
Gambar 14. Jumlah *Subscriber/Cell* pada *bandwidth* 10 MHz dan 15 MHz

Jumlah eNodeB yang diperlukan untuk membangun LTE di area Jabodetabek dan Bandung ditentukan oleh target jumlah pelanggan yang akan dilayani. Estimasi jumlah pelanggan LTE pada penelitian ini mengacu pada estimasi jumlah pelanggan LTE operator XL-Axiata, yaitu sebagai berikut:



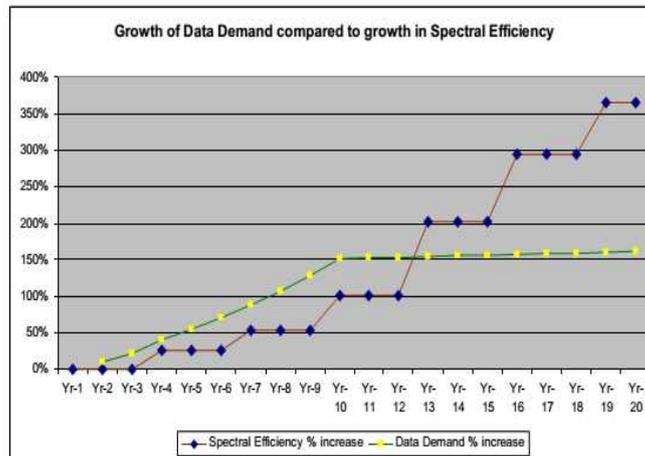
Gambar 15. Estimasi Jumlah Pelanggan LTE , XL-Axiata (dalam juta) (XL-Axiata, 2014)

Berdasarkan data populasi Jabodetabek dan Bandung dari Kementerian Dalam Negeri tahun 2012, prosentase jumlah penduduk Jabodetabek sebesar 76,26%, sedangkan jumlah penduduk di wilayah Bandung sebanyak 23,4%. Asumsi pada tahun pertama jumlah pelanggan LTE untuk area Jabodetabek dan Bandung sebesar 500.000. Sehingga proporsi jumlah pelanggan pada tahun pertama untuk wilayah Jabodetabek sebesar 381.300 pelanggan, dan area Bandung sebesar 117.000 pelanggan. Estimasi jumlah pelanggan untuk wilayah Jabodetabek dan Bandung dapat dilihat pada gambar 16. Pada gambar 16 terlihat bahwa estimasi kenaikan pelanggan Jabodetabek meningkat dari tahun ke tahun namun tidak terlalu besar. Hal ini diperkirakan banyaknya kompetitor operator LTE di Indonesia. Sehingga pelanggan mempunyai lebih banyak pilihan untuk menggunakan layanan operator yang sesuai dengan minat mereka.

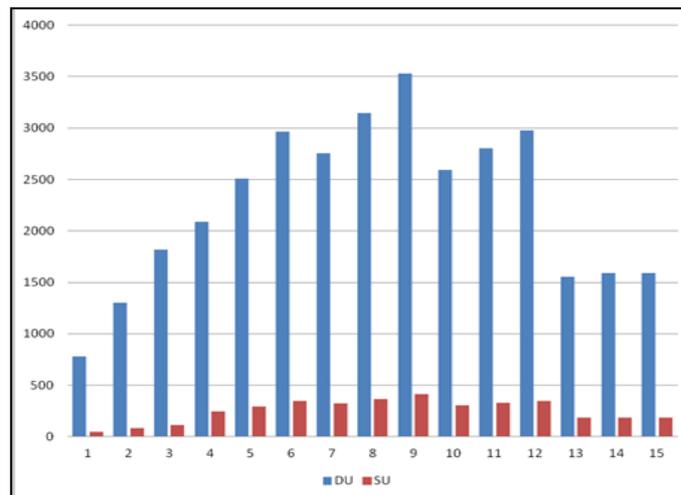


Gambar 16. Estimasi Jumlah Pelanggan Untuk Wilayah Jabodetabek dan Bandung

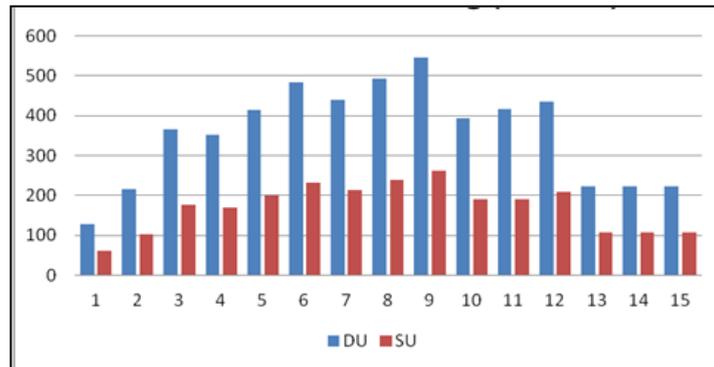
Spektral efisiensi dalam penelitian ini diasumsikan naik setiap tiga tahun sekali. Kenaikan tersebut dapat dilihat pada gambar 17. Dengan demikian pada tahun tertentu ketika jumlah pelanggan naik, tidak perlu menambah eNodeB. Hasil perhitungan jumlah eNodeB berdasarkan *capacity dimensioning* untuk *bandwidth* 10 MHz dapat dilihat pada gambar 18 dan 19. Sedangkan untuk jumlah eNodeB dengan menggunakan *bandwidth* 15 MHz dapat dilihat pada gambar 20 dan 21.



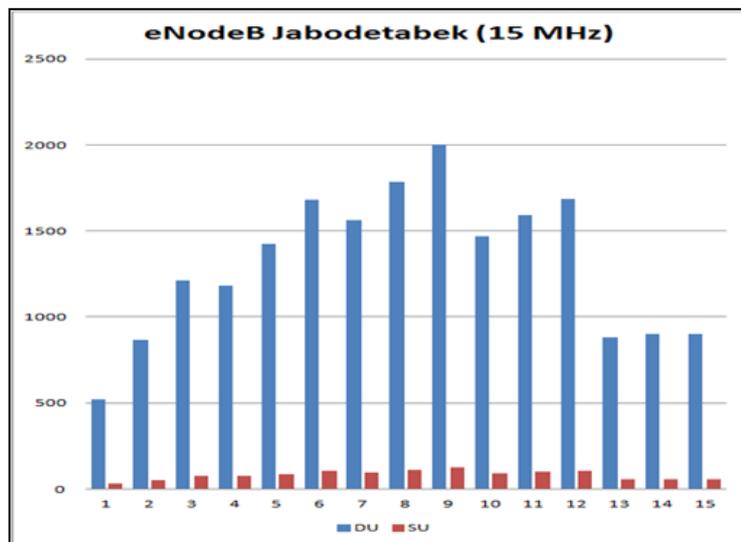
Gambar 17. Kenaikan spektral efisiensi(Lucente, Eng, & Eng, 2011)



Gambar 18. Jumlah eNodeB yang diperlukan pada daerah Jabodetabek (*Bandwidth* 10 MHz)

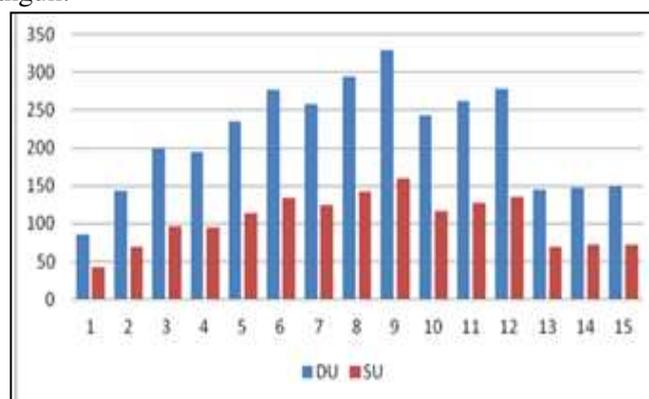


Gambar 19. Jumlah eNodeB yang diperlukan pada daerah Bandung (*Bandwidth* 10 MHz)



Gambar 20. Jumlah eNodeB yang diperlukan pada daerah Jabodetabek (*Bandwidth* 15 MHz)

Pada gambar diatas terlihat bahwa penggunaan *bandiwidth* 15 MHz lebih efisien dibandingkan penggunaan *bandwidth* 10 MHz. Hal ini dikarenakan semakin besar *bandwidth* yang digunakan, semakin sedikit eNodeB yang dibangun.

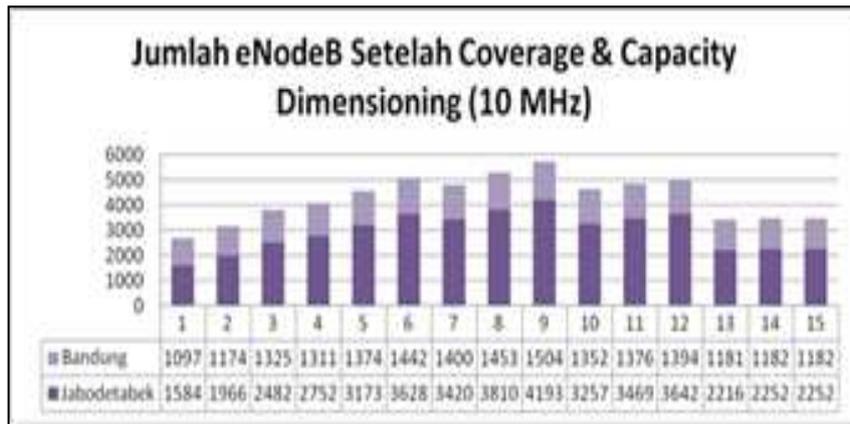


Gambar 21. Jumlah eNodeB yang diperlukan pada daerah Bandung (*bandwidth* 15 MHz)

4.4. Jumlah eNodeB setelah Perhitungan coverage planning dan capacity dimensioning

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

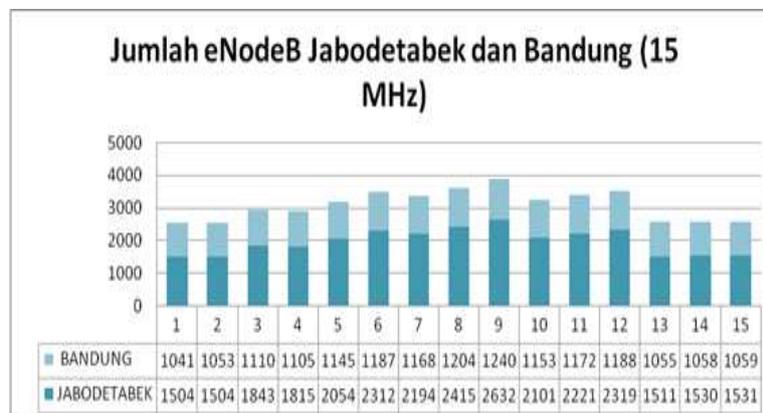
tahun pertama untuk membangun jaringan teknologi LTE di area Jabodetabek dan Bandung dapat dilihat pada gambar 22 berikut ini.



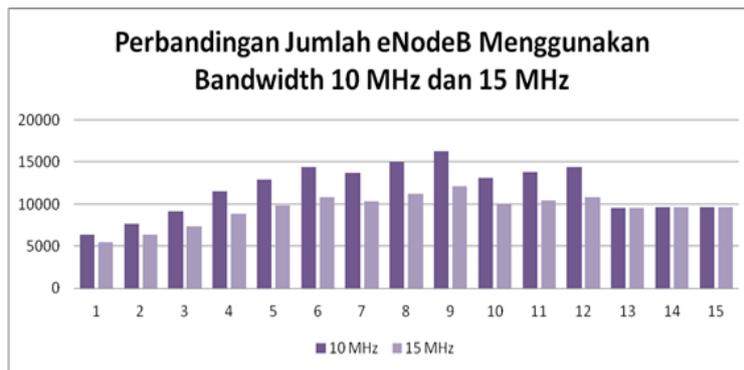
Gambar 22. Jumlah eNodeB setelah coverage planning dan capacity dimensioning

Pada gambar 22 terlihat bahwa jumlah eNodeB yang dibutuhkan untuk membangun jaringan LTE pada area Jabodetabek lebih besar jika dibandingkan area Bandung. Pada tahun pertama sebanyak 1584 eNodeB dibutuhkan untuk membangun LTE untuk daerah Jabodetabek. Sedangkan daerah Bandung lebih sedikit yaitu diperlukan 1097 buah. Jumlah eNode terbesar pada tahun ke-9 baik jabodetabek dan Bandung. Namun mengalami penurunan untuk tahun ke-10 karena pada tahun tersebut dilakukan upgrade teknologi yaitu peningkatan spektral efisiensi sebesar 100%. Kemudian pada tahun ke-13 juga mengalami peningkatan spektral efisiensi sebesar 200% sehingga jumlah eNodeB yang digunakan semakin sedikit meskipun jumlah pelanggan naik.

Jumlah eNodeB untuk daerah Jabodetabek dan Bandung menggunakan *bandwidth* 15 MHz ditunjukkan pada gambar 28. Pada gambar tersebut bahwa pada tahun pertama jumlah eNodeB yang dibutuhkan untuk area Jabodetabek sebanyak 1504 buah. Sedangkan untuk daerah Bandung lebih sedikit yaitu 1041 buah. Apabila dibandingkan, jumlah eNodeB untuk membangun LTE pada *bandwidth* 15 MHz lebih sedikit jika dibandingkan menggunakan *bandwidth* 10 MHz. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 23. Pada gambar tersebut terlihat pada tahun pertama, penggunaan *bandwidth* 15 MHz memberikan efisiensi sebesar 13.93% jumlah eNodeB jika dibandingkan penggunaan *bandwidth* 10 MHz. Pada tahun berikutnya mengalami peningkatan efisiensi dengan nilai paling besar 25.76% pada tahun ke 9. Namun pada tahun ke 14 dan 15 hanya 0.03% dikarenakan jumlah pelanggan sudah stagnan, sehingga tidak diperlukan penambahan eNodeB baik penggunaan *bandwidth* 10 MHz maupun 15 MHz.



Gambar 23. Jumlah eNodeB setelah coverage planning dan capacity dimensioning



Gambar 24. Perbandingan Jumlah eNodeB menggunakan *bandwidth* 10 MHz dan 15 MHz

4.5. Cost Benefit Analysis Penyelenggaraan Jaringan LTE 1.8 GHz oleh Operator Seluler

Cost-benefit analysis pada bagian ini untuk melihat seberapa layak penyelenggaraan jaringan LTE 1.8 GHz oleh operator seluler. Analisis biaya dan manfaat ini menggunakan empat skenario:

- Skenario I, menggunakan *bandwidth* 10 MHz dengan pembiayaan (*Service Charge*) *Global Frequency Returning* (GFR)
- Skenario II, menggunakan *bandwidth* 15 MHz dengan pembiayaan pembiayaan (*Service Charge*) *Global Frequency Returning* (GFR)
- Skenario III, menggunakan *bandwidth* 10 MHz tanpa ada pembiayaan (*Service Charge*) *Global Frequency Returning* (GFR)
- Skenario IV, menggunakan *bandwidth* 15 MHz tanpa pembiayaan pembiayaan (*Service Charge*) *Global Frequency Returning* (GFR)

a) Asumsi Variabel

Asumsi variabel yang digunakan untuk menghitung *cost-benefit analysis* dapat dilihat pada tabel 21 berikut ini.

Tabel 21. Asumsi variabel perhitungan *cost-benefit analysis*

Asumsi variabel	Nilai	Keterangan
Ekuitas	100%	Tidak ada pinjaman ke bank
Umur proyek	15	Tahun
Masa konstruksi	1	tahun
Masa operasi	14	tahun
Umur lisensi	10	Tahun
Opportunity Cost of Capital (OCC)	7,50%	Suku bunga pinjaman per 10 November 2014 (BI)
Nilai tukar	Rp.12.138	Rp/USD per November 2014 (BI)
PPh	10%	
Bandwidth	10 MHz	Skenario I dan III
	15 MHz	Skenario II dan IV
BHP frekuensi dan Jabode tabek dan Bandung	4.936.063.208	(juta) per MHz untuk daerah Jabodetabek dan Bandung
Amortisasi	4%	
Jumlah site Global Frequency Returning (GFR)	20000	Pengosongan 10 MHz (sumber:Telkomsel, 2014)
Biaya GFR	\$1200	Per site
ARPU	Rp.100.000	Per bulan(Setiawan, 2013)
Biaya marketing dan administrasi	10%	dari ARPU(Setiawan, 2013)
Kenaikan gaji	5%	Per tahun(Azmi, 2013)
Kenaikan biaya operasional	5%	Per tahun(Azmi, 2013)

b) Asumsi Biaya Pra-Operasi

Penerapan teknologi LTE pada frekuensi 1.8 GHz diasumsikan tidak ada biaya perijinan karena sudah dilakukan perijinan pada penerapan teknologi GSM. Sebelum menerapkan teknologi LTE pada frekuensi 1.8 GHz perlu adanya penataan frekuensi tersebut agar *contiguous*. Biaya penataan tersebut cukup besar yaitu mencapai USD1000 – 1200 per site (Setiawan, 2014). Pada penelitian ini diasumsikan sebanyak 2000 site dengan biaya *Global Frequency Returning* (GFR) sebesar USD1200 per site.

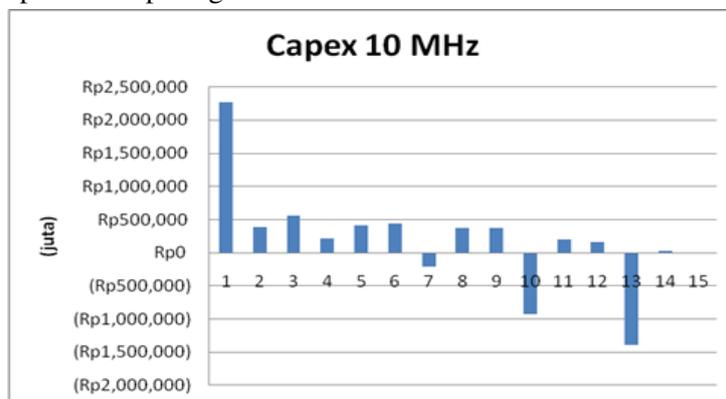
c) Asumsi *Capital Expenditure* (Capex)

Capex merupakan biaya yang harus dikeluarkan untuk memperoleh ataupun meng-upgrade aset tetap seperti tanah, bangunan, dan mesin produksi. Asumsi capex dalam penelitian meliputi biaya perangkat BTS (*hardware* dan *software*), *rectifier* dan baterai, serta jaringan lainnya. Nilai variabel tersebut ditunjukkan pada tabel 22.

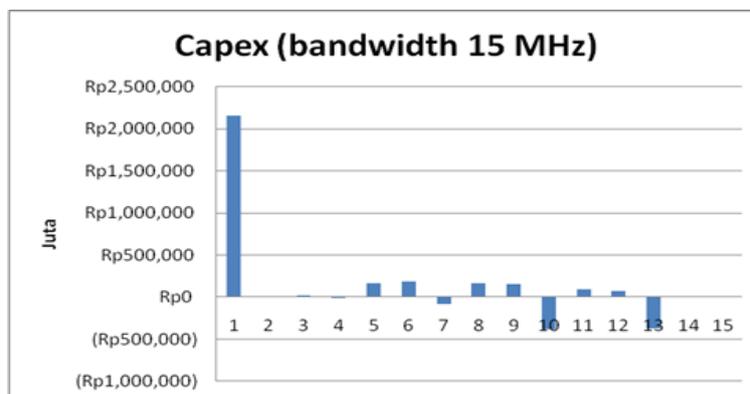
Tabel 22. Asumsi *capital expenditure* (capex)

Kegiatan	Jumlah	Investasi	Sumber
Perangkat BTS (hardware dan software) atau Single RAN 2G/3G/4G	1	Rp. 545.511.960	Telkomse1, 2014
Rectifier + Baterai	1	Rp. 58.000.000	Telkomse1, 2014
Jaringan lain	1	Rp. Rp243,843,846	Diasumsikan 44.7% dari single RAN 2G/3G/4G (XL Axiata, 2014)
Total investasi		Rp847,355,806	

Besarnya *capital expenditure* (capex) untuk skenario I dan III (*bandwidth* 10 MHz), skenario II dan IV (*bandwidth* 15 MHz) dapat dilihat pada gambar 25 dan 26.



Gambar 25. Besarnya capex untuk penggunaan *bandwidth* 10 MHz



Gambar 26. Besarnya capex untuk penggunaan *bandwidth* 15 MHz

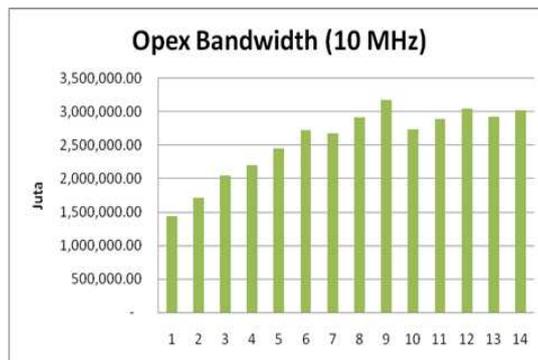
d) Asumsi *Operational Expenditure* (Opex)

Asumsi opex memperkirakan biaya operasional biaya *back-office* keseluruhan operator LTE. Biaya opex dalam penelitian ini terdiri dari biaya karyawan, *Technical Support Scope*, *Service Levels and Service Credit* (TSA), *maintenance*, BHP frekuensi, BHP USO, BHP Telekomunikasi, sewa tower, listrik, *sewa backhaul*, biaya interkoneksi, biaya marketing dan administrasi dan biaya perizinan per 10 tahun.

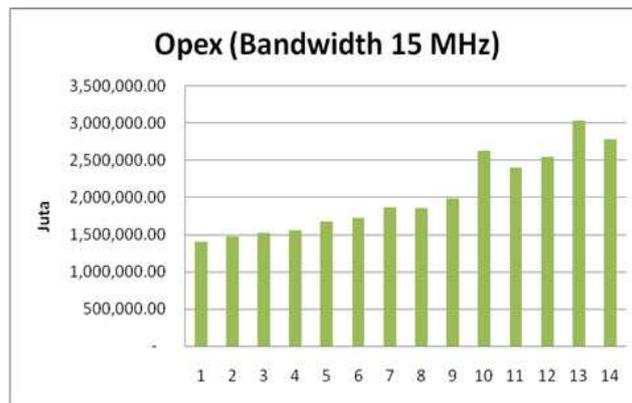
Tabel 23. Asumsi biaya

Kegiatan	Jumlah	Biaya	keterangan
Manager Teknis	225	Rp.20.000.000	/bulan
Tenaga kerja teknis	450	Rp.12.000.000	/bulan
Tenaga kerja maintenance	450	Rp.12.000.000	/bulan
Tenaga kerja administratif	450	Rp. 7.000.000	/bulan
Tenaga kerja Accountant dan audit keuangan	450	Rp.10.000.000	/bulan
Bonus (THR) tenaga kerja	2025	Rp.12.200.000	/tahun
<i>Technical Support Scope, Service Levels and Service Credit</i> (TSA)	per site	Rp25.723.000	/tahun
Maintenance	per site	Rp.5.068.000	/tahun
Listrik	per site	Rp.5.000.000	/bulan
Sewa backhaul	50 Mbps	Rp.5.500.000	/bulan
	100 Mbps	Rp.13.600.000	/bulan
Sewa tower	Per site	Rp.21.000.000	/bulan
Biaya interkoneksi	Per Gbps	Rp.180.000	/bulan
Biaya upgrade software		10% dari TSA	/3 tahun
BHP frekuensi (Nasional)	Per MHz	Rp.40 Milyar	/tahun
BHP frekuensi Jabodetabek dan Bandung	10 MHz	Rp.33.067.423.644	/tahun (naik 5% per tahun)
	15 MHz	Rp.49.601.135.465,49	/tahun (naik 5% per tahun)
BHP USO		0.5% dari Gross revenue	/tahun
BHP Telekomunikasi		1.5% dari Gross revenue	/tahun
Biaya marketing & administrasi		Rp5.000.000.000,00	/tahun (naik 5% per tahun)
Biaya perizinan per 10 tahun (asumsi kenaikan 5%)		Rp. 85.396.925	Pada tahun ke -6

Besarnya *operational expenditure* (opex) untuk penggunaan LTE pada *bandwidth* 10 MHz lebih besar jika dibandingkan penggunaan *bandwidth* 15 MHz. Biaya operasional (opex) dalam 14 tahun operasi pada *bandwidth* 15 MHz lebih efisien 25% dibanding penggunaan *bandwidth* 10 MHz.



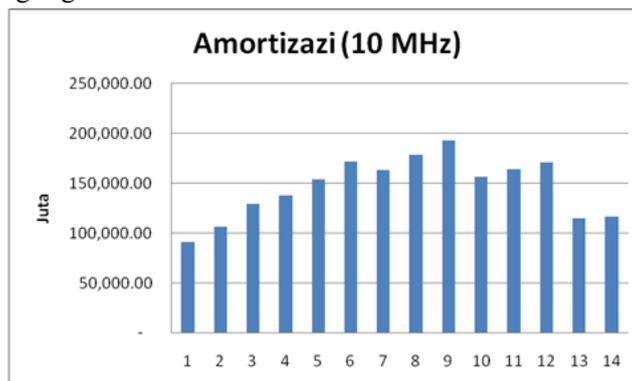
Gambar 27. Asumsi Biaya Operasional selama 14 tahun untuk *bandwidth* 10 MHz



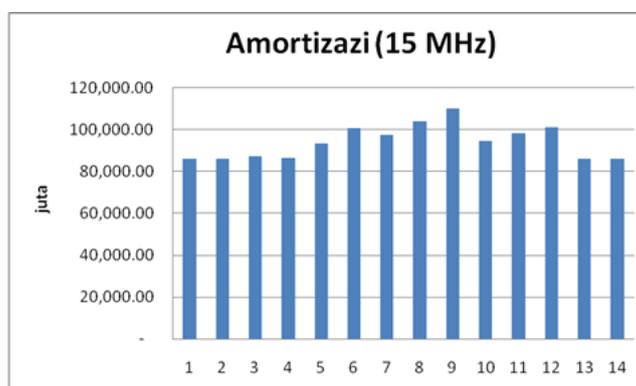
Gambar 28. Asumsi Biaya Operasional selama 14 tahun untuk *bandwidth* 15 MHz

e) Amortisasi

Asumsi amortisasi dalam penelitian ini 4% dari *capital expenditure* (capex). Besarnya amortisasi tiap tahun berbeda-beda tergantung jumlah eNodeB yang telah dibangun. Pada gambar 39 dan 40 terlihat bahwa amortisasi berfluktuatif tergantung pada jumlah eNodeB LTE *existing* pada tahun sebelumnya. Besarnya amortisasi penggunaan apabila menggunakan *bandwidth* 10 MHz lebih besar dibanding dengan 15 MHz. Hal ini disebabkan jumlah eNodeB yang digunakan untuk penggunaan *bandwidth* 10 MHz lebih besar jika dibandingkan 15 MHz. Dengan demikian penyusutan perangkat juga lebih besar, sebanding dengan jumlah perangkat atau eNodeB yang digunakan.



Gambar 29. Asumsi Amortisasi untuk penggunaan *bandwidth* 10 MHz

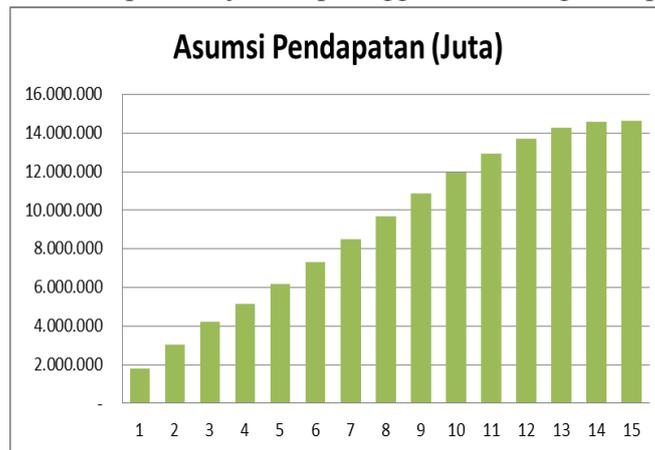


Gambar 30. Asumsi Amortisasi untuk penggunaan *bandwidth* 15 MHz

f) Pendapatan

Pendapatan diperoleh dari *Average Revenue Per Unit* (ARPU). Pada penelitian ini diasumsikan sebesar Rp.100.000 per bulan flat selama 15 tahun dengan paket layanan 5 Gbps (Setiawan, 2013). Pendapatan yang diperoleh per tahun ditunjukkan pada gambar 41. Pada gambar tersebut terlihat bahwa

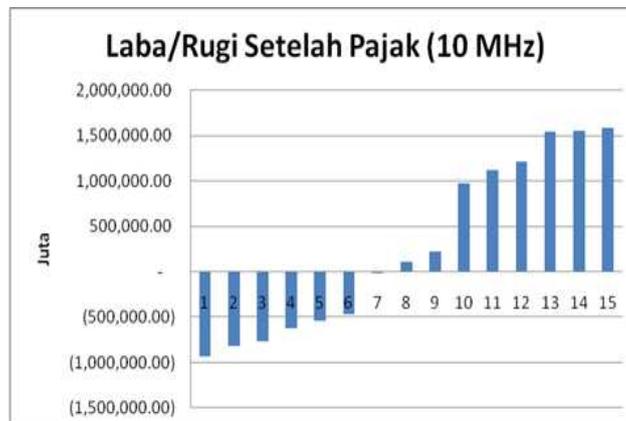
pendapatan dari tahun ke tahun mengalami peningkatan meskipun tidak ada kenaikan ARPU per tahun terhadap inflasi. Hal ini disebabkan prediksi jumlah pelanggan LTE mengalami peningkatan.



Gambar 31. Asumsi Pendapatan (juta)

g) Perkiraan Laba Rugi

Labarugi ditentukan oleh variabel pendapatan, biaya operasi, labarugi operasi, amortizazi, labarugi sebelum pajak dan pajak/PPH (10%). Perkiraan Labarugi dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 32 dan 33. Pada gambar tersebut terlihat bahwa penerapan LTE FDD menggunakan *bandwidth* 10 MHz akan memperoleh laba pada tahun ke 8. Namun pada *bandwidth* 15 MHz mengalami keuntungan pada tahun ke-4. Dengan demikian, penggunaan *bandwidth* 15 MHz akan mengalami keuntungan lebih cepat 4 tahun dibanding penggunaan *band* 10 MHz.



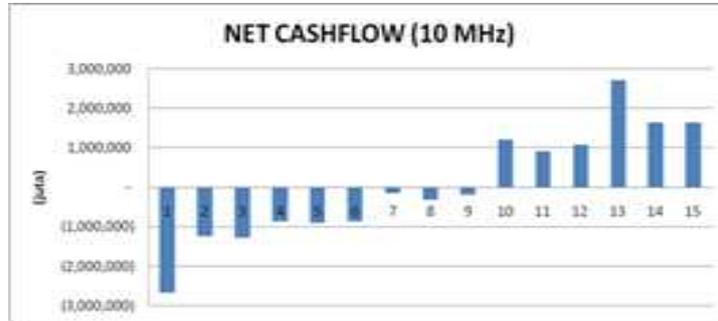
Gambar 32. Besarnya Laba/Rugi setelah pajak penggunaan *bandwidth* 10 MHz



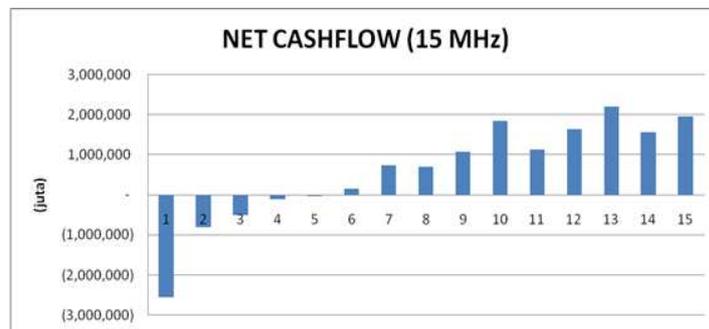
Gambar 33. Besarnya Laba/Rugi setelah pajak penggunaan *bandwidth* 15 MHz

h) *Cash Flow*

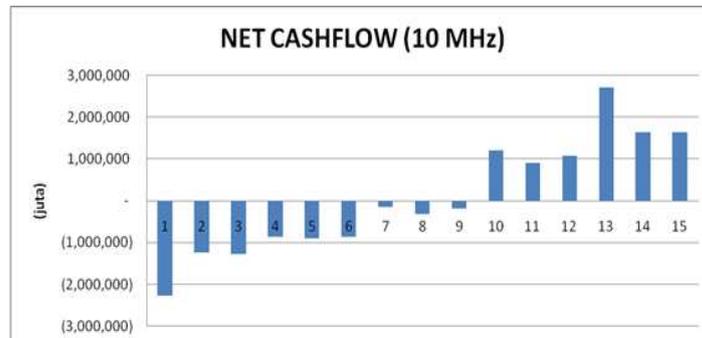
Cash flow merupakan arus kas masuk dikurang arus kas keluar. *Net cash flow* dihitung dari tahun sebelum proyek beroperasi yaitu ketika masa konstruksi. Pada masa konstruksi terdapat biaya *capex* tahun ke 0 dan biaya pra-operasi yaitu biaya *Global Frequency Returning* (GFR) untuk mengosongkan *bandwidth* sebesar 10 MHz selama 6 bulan agar *bandwidth* pada frekuensi 1800 MHz bisa ditata ulang menjadi *contiguous*. Gambar 34 menunjukkan besarnya *net cashflow* untuk masing-masing skenario.



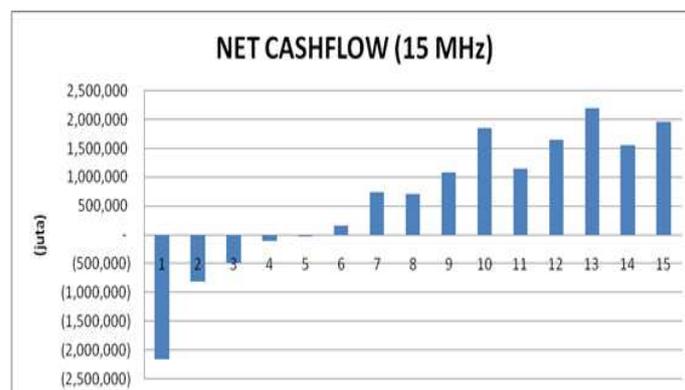
Gambar 34. *Net Cash Flow* untuk skenario I (dengan GFR)



Gambar 35. *Net Cash Flow* untuk skenario II (dengan GFR)



Gambar 36. *Net Cash* untuk skenario III (tanpa GFR)



Gambar 37. *Net Cashflow* Skenario IV (tanpa GFR)

i) Net Present Value (NPV) dan IRR (*Internal Rate of Return*)

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 perusahaan 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 2014 di BI).

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa proyek untuk skenario II dan IV layak. Sedangkan untuk skenario I dan III proyek tidak layak. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 24. Dari tabel tersebut terlihat bahwa proyek akan memperoleh keuntungan apabila bandwidth yang digunakan sebesar 15 MHz, baik menggunakan biaya GFR maupun tanpa GFR. Namun ketika proyek menggunakan bandwidth 10 MHz maka proyek tidak layak digunakan meskipun tanpa ada biaya pra-operasi yaitu biaya GFR. Proyek tanpa GFR pada penggunaan bandwidth 15 MHz memberikan keuntungan sebesar 1.33% jika dibanding menggunakan GFR.

Tabel 24. NPV dan IRR masing-masing skenario

SKENARIO	NPV	IRR
Skenario I (badwidth 10 MHz dengan GFR)	-Rp3,553,181,822,498.71	-0.87%
Skenario II (badwidth 15 MHz dengan GFR)	Rp2,695,645,400,060.41	13.73%
Skenario III (badwidth 10 MHz tanpa GFR)	-Rp3,181,541,264,359.18	-0.34%
Skenario IV (badwidth 15 MHz tanpa GFR)	Rp3,067,285,958,199.94	15.06%

j) Risk Analysis (Analisis Resiko)

Analisis Resiko dilakukan pada hasil analisa proyek yang layak. Berdasarkan hasil penelitian diiperoleh bahwa minimal bandwidth yang digunakan untuk penerapan LTE yaitu 15 MHz. Dengan demikian analisis resiko dilakukan pada skenario II dan IV. Pada skenario II terlihat bahwa proyek akan rugi apabila:

- Pelanggan berkurang lebih dari 13,9%
- BHP frekuensi naik lebih dari 529,2%
- ARPU turun lebih dari 13,9%
- Komponen kenaikan gaji lebih dari 15%

Skenario IV akan mengalami kerugian apabila:

- Pelanggan berkurang lebih dari 15,8%
- BHP frekuensi naik lebih dari 601,4%%
- ARPU turun lebih dari 15,8%
- Komponen kenaikan gaji lebih dari 15%

Tabel 25. Analisis Resiko Penggunaan Penerapan LTE Menggunakan Bandwidth 15 MHz

Variabel	Asumsi	BW=15 MHz dengan GFR (Skenario II)		BW=15 MHz tanpa GFR (Skenario IV)	
		NPV =0	Switching Value	NPV =0	Switching Value
Jumlah Pelanggan	500.000	430.740	-13,90%	421.224	-15,80%
BHP Frekuensi	Rp49.601.135.465,49	Rp312.088.809.971	529,20%	Rp347.919.223.364	601,40%
ARPU	Rp.100.000	Rp.86.147,9279	-13,90%	Rp.84.244,73	-15,80%
Kenaikan komponen gaji	5,00%	15,00%	200,00%	15,00%	200,00%

5. Simpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Penerapan Teknologi LTE frekuensi 1800 MHz dengan menggunakan bandwidth 15 MHz lebih layak dibandingkan penggunaan bandwidth 10 MHz. Meskipun tanpa Global Frequency Returning, Penerapan teknologi LTE 1800 MHz pada bandwidth 10 MHz masih mengalami kerugian dalam 15 tahun operasi. Minimal bandwidth yang digunakan pada teknologi LTE 1800 MHz agar memperoleh keuntungan yaitu 15 MHz.

5.2. Saran

Perlu adanya subsidi dari pemerintah untuk biaya Global Frequency Returning atau pengurangan BHP untuk meringankan beban operasional penerapan LTE. Perlu dilakukan analisis kelayakan penggunaan bandwidth 10 MHz pada 5 tahun pertama, 15 MHz pada 5 tahun kedua, dan 20 MHz pada 5 tahun ketiga.

Daftar Pustaka

- Asp, I. T. U., Training, C. O. E., & Broadband, W. (2013). Long Term Evolution : Radio Network Planning ITU ASP COE Training on, 1–35.
- Cox, C. (2012). Introduction (pp. 21–44). John Wiley & Sons.
- Floatway Learning Center. (2014). Training Material 4G RF Planning.
- Grønsund, P., Grøndalen, O., & Lähteenoja, M. (2013). Business case evaluations for LTE network offloading with cognitive femtocells. *Telecommunications Policy*, 37(2-3), 140–153. doi:10.1016/j.telpol.2012.07.006
- Group, D. of F. and A. F. M. (2006). Handbook of Cost-Benefit Analysis January 2006. Canberra.
- Hoikkanen, A., & Networks, N. S. (2006). Economics of 3G Long-Term Evolution : the Business Case for the Mobile Operator.
- Huawei Technologies co.LTD. (n.d.). LTE Radio Network Planning Introduction.
- 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*.
- Jenderal, D., Daya, S., Perangkat, D. A. N., & Informatika, D. A. N. (2013). Data Statistik Semester 2 2013. Jakarta.
- Lingga Wardhana, D. (2014). *4G Handbook Bahasa Indonesia*.
- Lucente, C., Eng, M., & Eng, P. (2011). *700MHz Spectrum Requirements for Canadian Public Safety Interoperable Mobile Broadband Data Communications Defence R & D Canada – Centre for Security Science*. Canada.
- Molisch, A. F. (2011). 7.6.1 Appendix 7. A: The Okumura – Hata Model. In *Wireless Communications, Second Edition*.
- Nikolij, 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
- Prasetyo, A. (2011). Techno-Economic Analysis of LTE Release8 Implementation with Using Capacity and Coverage Estimation Method and DCF Methode in Jabodetabek. Bandung.
- Setiawan, D. (2013). Pemodelan Akselerasi Implimentasi Digital Dividend di Indonesia.