

PERENCANAAN CAPACITY COVERAGE PADA ACCESS LINK DAN BACKHAUL MENGGUNAKAN MINILINK PADA JARINGAN LTE DI DAERAH KOTA BANDUNG

Capacity Coverage Planning On Link Access And Backhaul Using Minilink on LTE Network In Bandung Areas
Muchlisin¹, Dr. Ir. Heroe Wijanto, M.T.², Hafidudin, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Bandung

³Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom Bandung

¹balbalan@students.telkomuniversity.ac.id, ²hero.e.wijanto@gmail.com, ³hafid@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi berbasis Internet Protocol (IP) yang mendukung transfer paket data dengan rate yang tinggi dibandingkan teknologi sebelumnya pada HSDPA release 5, meskipun user bergerak dengan kecepatan tinggi. Teknologi ini akan dapat memenuhi kebutuhan para user akan komunikasi data yang terus meningkat beberapa tahun belakangan. Meningkatnya kebutuhan user akan data rate yang tinggi berdampak pada meningkatnya kebutuhan jaringan untuk dapat menyalurkan seluruh data source trafik dari eNodeB ke user (access) maupun eNodeB ke jaringan inti (*backhaul*).

Perangkat Microwave *Minilink* merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menyalurkan data dari eNodeB ke jaringan core (*backhaul*) dengan kapasitas yang tinggi hingga 1 Gbps. Pada hasil tugas akhir ini *backhaul* yang di rancang menggunakan *Minilink* TN menghasilkan nilai network throughput sebesar 7,38 Gbps, dengan hasil tersebut untuk jaringan akses didapatkan Mandalajati : 5 site, Cidadap : 5 site, dan Sukasari 8 site. Pada perencanaan jaringan *backhaul* skenario 1 diperoleh free space loss rata-rata 121,47 dB, signal level rata-rata -64 dBm, fading margin rata-rata 30,79 dB, membutuhkan 4 hop dan 64 *backhaul minilink*. Sedangkan pada skenario 2 diperoleh free space loss rata-rata 119,08 dB, signal level rata-rata -64 dBm, fading margin rata-rata 27,24 dB, membutuhkan 4 hop dan 34 *backhaul minilink*.

Hasil yang dicapai pada tugas akhir ini pada skenario 1 memiliki jalur yang lebih banyak, sehingga kemungkinan paket gagal terkirim lebih sedikit, karena memiliki banyak jalur alternatif atau jalur cadangan. Dan *handover* lebih efektif karena jalur trafiknya melewati X2 interface sehingga tidak perlu ke MME. Sedangkan untuk skenario yang kedua memiliki free space loss rata-rata yang lebih rendah, sehingga power yang disediakan tidak banyak hilang. Dan fading margin kecil sehingga asumsi terjadi fading lebih kecil. Karena itu pada perancangan jaringan *backhaul* dalam tugas akhir ini dipilih skenario pertama. Hal ini disebabkan karena secara teknis enodeB harus saling terhubung agar *handover* yang terjadi lebih efektif.

Kata kunci: LTE, *minilink* TN, C/(I+N), *hop*, *throughput*, *star*, *mesh*

Abstract

Long Term Evolution (LTE) is a technology based on Internet Protocol (IP) which support higher transfer of data packets than previous technologies in HSDPA release 5, although the user work at high speed. This technology will be able to meet the needs of user data communications continues to increase in recent years. Increased user needs high data rate will have an impact on the growing needs of the network in order to deliver the entire data traffic of eNodeB source to user (access) or eNodeB to the core network (*backhaul*).

Microwave *Minilink* device is one of solution that can be used to deliver data from eNodeB to core network (*backhaul*) with a high capacity up to 1 Gbps. On the results of this research, *backhaul* is designed with *Minilink* TN that generate value of network throughput as 7.38 Gbps, at access network the result obtain at Mandalajati : 5 sites, Cidadap : 5 sites, and Sukasari : 8 sites. On the *backhaul* network planning 1st scenario obtained free space loss average is 121.47 dB, the average signal level is -64 dBm, average fading margin 30.79 dB, requires 4 hops and 64 *backhaul minilink*. While in 2nd scenario obtained average free space loss 119.08 dB, the average signal level is -64 dBm, average fading margin 27.24 dB, requires 4 hops and 34 *minilink backhauls*.

The results from 1st scenario has more track, so the possibility which package failed to send is fewer, as it have many alternative paths or backup. And *handover* is more effective because the traffic lane past through X2 interface which don't past to MME. As for the second scenario has a lower average free space loss, so that the power supplied is not much missing. And fading margin has a small value so it have smaller fading. Therefore the *backhaul* network design in this thesis selected the first scenario. This is because technically e node B should be interconnected so that *handover* happen more effectively.

Keywords: LTE, *minilink* TN, C/(I+N), *hop*, *throughput*, *star*, *mesh*

1. Pendahuluan

Seiring bertambahnya kebutuhan *user* akan data *rate*, maka bertambah pula kebutuhan jaringan untuk dapat menyalurkan seluruh data dari eNodeB (akses) ke jaringan inti. Jalur penghubung yang digunakan untuk menyalurkan data ke jaringan inti adalah X2 *Interface* dan S1 *Interface* untuk teknologi LTE. Dalam komunikasi X2 *Interface* diperlukan hubungan langsung antar eNodeB[1]. Hal ini sulit diterapkan secara langsung apabila terdapat banyak *site*

dalam suatu jaringan LTE, Oleh karena itu perlu dilakukan perancangan jaringan *backhaul* agar mendapatkan konfigurasi *backhaul* secara tepat dan efisien.

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi berbasis Internet Protocol (IP) yang mendukung transfer paket data dengan *rate* yang tinggi dibandingkan teknologi sebelumnya. Teknologi ini mendukung banyak aplikasi dan fitur sehingga pengguna dapat memanfaatkan dalam berbagai hal seperti bisnis, pekerjaan, edukasi, hiburan, kesehatan, olahraga, musik, dan lain-lain.

Minilink merupakan satu teknologi *microwave* yang dapat digunakan untuk menyalurkan data dari eNodeB ke jaringan inti (*backhaul*) dengan kapasitas yang tinggi hingga 1 Gbps. Pada penelitian ini digunakan jenis *Minilink* TN. Kelebihan *Minilink* TN adalah *microwave link* radio lengkap dengan kemampuan penanganan PDH, SDH, Ethernet dan ATM di node yang sama, di *hop* yang sama, menggunakan semua frekuensi yang diperlukan dalam kisaran 6-38 GHz.

Pada tugas akhir ini, *backhaul* yang dirancang menggunakan akses teknologi *minilink* dengan komunikasi *Line of Sight* (LOS) serta konfigurasi topologi yang digunakan. Diharapkan tugas akhir ini dapat memberikan masukan dalam perancangan *backhaul* pada jaringan LTE beserta topologi dengan menggunakan teknologi *minilink* di masa depan.

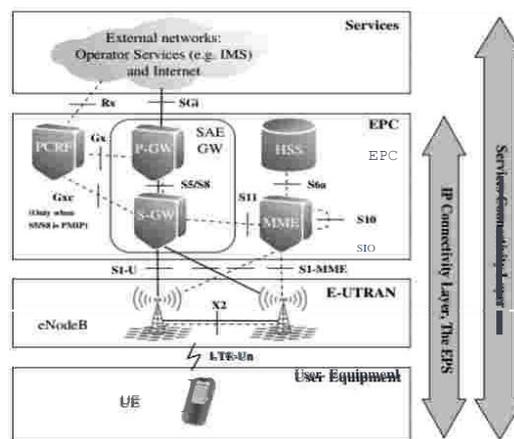
2. Dasar Teori dan Perancangan Sistem

2.1 LTE (Long Term Evolution)

Istilah LTE pertama kali diperkenalkan oleh 3GPP untuk memulai tahap evolusi berikutnya dalam sistem komunikasi mobile yang berdasarkan pada teknologi *Orthogonal Frekuensi Division Multiplexing* (OFDM). LTE memiliki kemampuan untuk beroperasi pada mode FDD ataupun TDD. Perubahan signifikan dibandingkan standar sebelumnya meliputi 3 hal utama, yaitu *air interface*, jaringan radio serta jaringan *core*.

2.1.1 Arsitektur LTE

Dalam arsitektur jaringan LTE, arsitektur terbagi menjadi dua bagian yaitu *Evolved Packet Core* (EPC) dan *Evolved UTRAN* (E-UTRAN). EPC dapat pula terhubung ke jaringan radio akses lain baik yang menggunakan standar 3GPP maupun bukan 3GPP. EPC terdiri dari S-GW, P-GW, HSS, PCRF dan MME. Sedangkan E-UTRAN terdiri dari beberapa eNodeB.



Gambar 2.1 Arsitektur LTE [16]

2.1.2 Perencanaan Jaringan LTE

Perencanaan jaringan LTE dilakukan dengan dua pendekatan yaitu berdasarkan kapasitas dan berdasarkan daerah cakupan yang nantinya digunakan sebagai parameter dalam menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan agar dapat memenuhi kebutuhan *user data rate* dan mengcover seluruh wilayah Bandung.

2.1.2.1 Perencanaan Jaringan Berdasarkan Kapasitas

Dalam perancangan jaringan berdasarkan kapasitas, estimasi jumlah *site* yang dibutuhkan pada suatu wilayah layanan diperoleh dengan terlebih dahulu menghitung *cell capacity* dan *network throughput* dari wilayah layanan. *Network throughput* merupakan total *throughput demand* yang dibutuhkan untuk dapat melayani seluruh *user* pada wilayah layanan. *Cell capacity* merupakan kapasitas sistem dari sebuah sel. Dalam perancangan jaringan berdasarkan kapasitas, perlu dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

- Menentukan Total *user* Potensial
- Menentukan Jenis Layanan dan Service Model Parameter
- Menghitung Traffic Model Parameter

d. Menghitung Network Throughput

2.1.2.2 Perencanaan Jaringan Berdasarkan Daerah Cakupan

Estimasi kebutuhan *site* pada suatu wilayah layanan dengan metode daerah cakupan dilakukan dengan memperhatikan kemampuan suatu perangkat jaringan dalam menjangkau wilayah layanan tersebut. Kondisi propagasi gelombang dari pemancar menuju penerima tidak terlepas dari pengaruh berbagai redaman yang muncul akibat kondisi lintasan yang dilalui gelombang.

. Tabel 2.1 Parameter *link budget Uplink LTE*[16]

Komponen Parameter	Unit	Uplink Calculation	Calculation
<i>Transmitter – UE</i>			
TX Power	dBm	23	B
Tx Antena Gain	dBi	0	C
Body Loss	dB	3	D
EIRP	dBm	20	e=b+c-d
<i>Receiver - Node B</i>			
eNB Noise Figure	dB	8	G
Thermal Noise	dB	-101	H
Receiver Noise	dBm	-93	i=g+h
SINR	dB	8	J
Receiver sensitivity	dB	-85	k=i+j
Interference Margin	dB	10	L
Cable Loss	dB	3.37	M
Rx Antena Gain	dBi	12	N
MAPL	dB	123.63	o=e-k+l-m+n

2.2 Minilink Backhaul

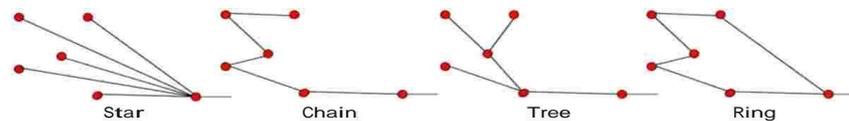
Minilink Backhaul adalah suatu teknologi *microwave* yang dikembangkan dan digunakan untuk pengiriman data dari jaringan akses ke jaringan inti. Teknologi *Minilink* dapat diimplementasikan pada jaringan yang besar, dan mendukung layanan *full IP based* dengan kapasitas yang besar hingga mencapai 1 Gbps. Pada tugas akhir ini versi *Minilink* yang digunakan adalah *Minilink TN R4* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut:

Gambar 2.2 *Minilink TN*[13]

Seiring bertambahnya kapasitas yang dibutuhkan oleh jaringan, maka kapasitas yang digunakan untuk hubungan *backhaul* juga akan bertambah besar. Dengan teknologi *Minilink* ini, kapasitas *backhaul* dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan hingga 1 Gbps.

2.3 Definisi Backhaul

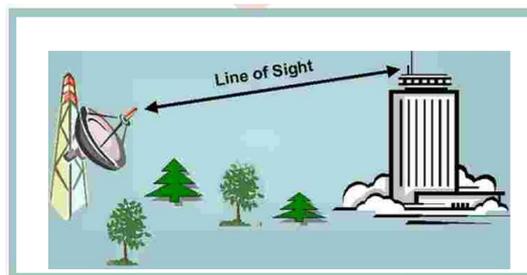
Menurut Eirik Nesse selaku *Vice President of Strategy, Backhaul provider Ceragon*, *backhaul* adalah suatu jalur atau *link* yang menghubungkan dari suatu *Base Station (BS)* ke suatu *Core Network (CN)* untuk mengambil trafik dari BS tersebut dan dihubungkan ke jaringan[4]. Ada beberapa jenis cara yang dapat digunakan sebagai *link backhaul* seperti *microwave*, *fiber optic*, *ADSL* dll. Pada tugas akhir ini, perangkat *backhaul* yang digunakan adalah *Minilink TN* yang merupakan perkembangan dari teknologi *Microwave*. Pemilihan teknologi *microwave* sebagai *backhaul* karena sesuai dengan kondisi geografis kota Bandung yang memiliki daratan tinggi. Selain itu, *microwave* merupakan alat yang sudah digunakan sebelumnya sebagai komunikasi *backhaul* untuk berbagai *operator* di Indonesia.



Gambar 2.3 Jenis Topologi Jaringan Backhaul[5]

2.4 Propagasi LOS dan NLOS

Dalam kondisi LOS, sinyal berjalan secara langsung dan tanpa penghalang dari pengirim ke penerima. Tapi dalam kondisi NLOS, sinyal tiba di penerima melalui pantulan, scattering dan difraksi. Pada Tugas Akhir ini, perencanaan jaringan *Minilink TN* sebagai *backhaul* menggunakan propagasi LOS dalam mentransmisikan pancaran sinyal karena perangkat *Minilink TN* mendukung komunikasi LOS. Gambar 2.5 adalah salah satu contoh terjadinya propagasi LOS (*Line of Sight*), berikut ini:



Gambar 2.4 Propagasi LOS[14]

2.5 Perhitungan Propagasi LOS

Hubungan komunikasi untuk jaringan *Minilink TN* pada tugas akhir ini menggunakan komunikasi LOS (*Line of Sight*). Berikut adalah parameter yang diperhitungkan untuk memenuhi kebutuhan perencanaan jaringan *backhaul*:

2.5.1 Free space loss (FSL)

Parameter ini digunakan untuk mendapatkan nilai rugi-rugi lintasan pada suatu pentransmisiian sinyal. Persamaan 2.13 berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari FSL:

$$L_p = 92,44 + 20 \text{ Log } F_{\text{GHz}} + 20 \text{ Log } D_{\text{km}}$$

2.5.2 Tinggi antena

Untuk mendapatkan tinggi antena, dibutuhkan beberapa parameter tambahan seperti tinggi permukaan, *fresnel zone* dan faktor kelengkungan bumi.

1. Tinggi permukaan

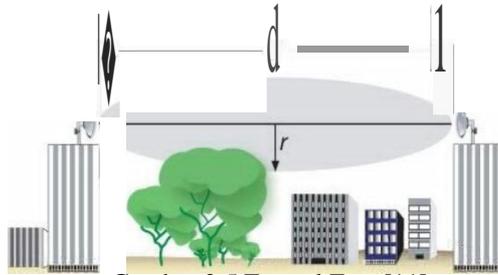
Permukaan laut merupakan acuan suatu tinggi antena yang ingin diterapkan. Tinggi permukaan ini dapat dilihat dari peta kontur kota Bandung menggunakan *software Atoll*. Tinggi antena dapat diperoleh dari suatu nilai parameter kelengkungan bumi, tinggi bukit (obstacle) antara pengirim dan penerima, dan jari-jari fresnel yang akan digunakan.

2. Kelengkungan Bumi

Faktor kelengkungan bumi digunakan untuk menghitung seberapa tinggi yang dihasilkan diantara pengirim dan penerima akibat kelengkungan bumi dengan jarak tertentu.

3. Fresnel Zone

Fresnel zone adalah daerah suatu lintasan pada suatu transmisi gelombang yang digambarkan berbentuk *elips* dan menunjukkan interferensi gelombang RF.



Gambar 2.5 Fresnel Zone[11]

2.5.3 Transmitted Power dan Received Power

Transmitted Power digunakan untuk mendapatkan nilai daya pancar yang dikirim oleh suatu pengirim pada jaringan *backhaul minilink*. Dalam proses perancangan jaringan *backhaul minilink* pada tugas akhir ini, digunakan *transmitted Power* sebesar 26 dBm[6]. *Received Power* digunakan untuk mendapatkan nilai daya yang dapat diterima oleh penerima di jaringan *backhaul minilink*. Untuk mendapatkan nilai *received Power*, dibutuhkan beberapa parameter tambahan yang seperti, *gain* antena, *loss* kabel, *fading margin* dan *free space loss*. Nilai dari *received Power* didapatkan dari persamaan berikut ini:

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{kabel} - L_{fading} - L_{free\ space}$$

2.5.4 Fading Margin

Fading margin adalah daya tambahan yang diberikan untuk mengantisipasi terjadinya *fading*. *Fading* merupakan fluktuasi sinyal di penerima. Dalam penentuan nilai *fading margin*, perlu dilakukan perhitungan dua parameter yaitu redaman hujan dan *multipath fading*[7]. Nilai yang terbesar diantara parameter tersebut akan dijadikan nilai standar sebagai *fading margin*[7]. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan redaman hujan serta *multipath fading*.

2.6 Cost 231

Perencanaan dengan *frekuensi* 1800 MHz, untuk LTE digunakan model propagasi COST-231. Persamaan model COST-231 adalah sebagai persamaan berikut :

$$L = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_s - a(hR) + [44.9 - 6.55 \log h_s] \log d + C$$

2.7 Topologi Jaringan

2.7.1 S-GW (Serving SAE Gateway)

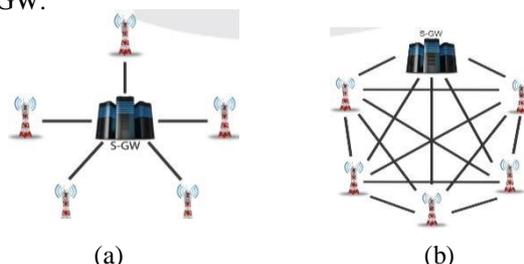
SGW atau *Serving SAE Gateway* berfungsi untuk paket routing dengan menentukan jalur dan meneruskan data yang berupa paket dari setiap *user*, penghubung antara UE dan eNodeB pada saat terjadi *interhandover*, serta *link* penghubung antara jaringan LTE dengan jaringan 3GPP (2G dan 3G).

2.7.2 Topologi Star[8]

Topologi star atau sering disebut topologi bintang adalah sebuah topologi jaringan yang menggunakan sebuah *switch/hub* untuk menghubungkan antar *node client*. Topologi star merupakan topologi yang sering digunakan untuk instalasi jaringan pada umumnya.

2.7.3 Topologi Mesh [8]

Topologi *mesh* atau topologi jala merupakan topologi yang didesain dalam hal pemilihan rute jaringan yang banyak. Dalam topologi *mesh* terdapat banyak rute yang berfungsi sebagai jalur *backup* pada saat jalur yang lain sedang dalam keadaan *down*. Berikut adalah gambar 2.10 yang menunjukkan topologi jaringan *mesh* yang saling berhubungan dengan sebuah S-GW.



Gambar 2.6 (a) Topologi Star; (b) Topologi Mesh

3. Perancangan Jaringan

3.1 Tahapan Perancangan Jaringan

Tahapan perencanaan dari tugas akhir ini dijelaskan dalam diagram alir perencanaan dijelaskan bahwa langkah pertama dalam proses tugas akhir ini adalah dengan melakukan analisa wilayah 3 kecamatan kota Bandung, meliputi : analisis geografis, luas wilayah, kepadatan jumlah penduduk dan kondisi *siteexisting*.

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses LTE dimensioning, yaitu melakukan perhitungan perancangan jaringan LTE berdasarkan coverage (daerah cakupan wilayah) dan *capacity* (kapasitas).

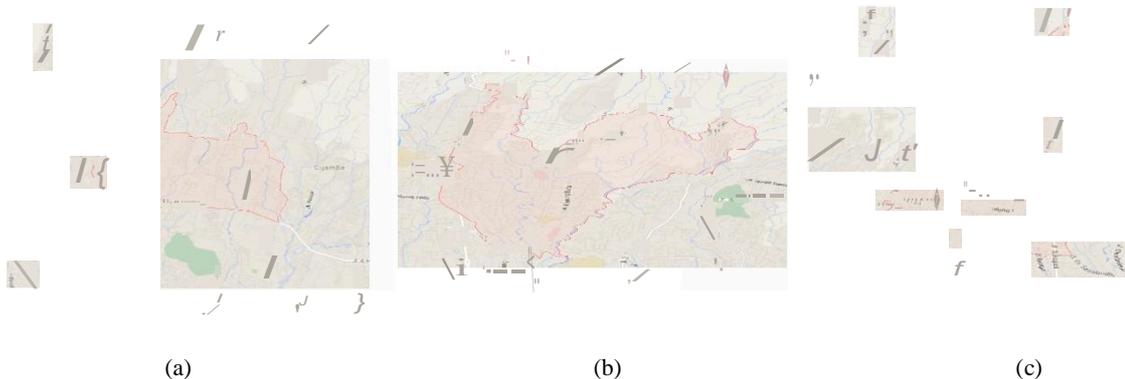
Dimensioning berdasarkan *capacity* (kapasitas) membutuhkan beberapa parameter, yaitu klasifikasi *service* model dan estimasi jumlah *user*, perhitungan *single user throughput* dan *network throughput* sehingga didapat jumlah *site* yang dibutuhkan. Sehingga apabila diurutkan, tahapan perancangan jaringan berdasarkan kapasitas meliputi:

- a. Menentukan Total *user* Potensial
- b. Menentukan Jenis Layanan dan *Service* Model Parameter
- c. Menghitung *Traffic* Model Parameter
- d. Menghitung *Network Throughput*
- e. Penentuan jumlah *site*

3.2 Penentuan Parameter LTE

3.2.1 Analisis Kondisi Wilayah

Perencanaan ini dilakukan di 3 kecamatan Wilayah Kota Bandung, yaitu kecamatan Mandalajati, kecamatan Cidadap, dan kecamatan Sukasari Kota Bandung. Dengan masing-masing jumlah populasi penduduk kecamatan Mandalajati : 62.875 , kecamatan Cidadap : 58.175 , kecamatan Sukasari : 81.659. Kota ini secara geografis terletak di tengah – tengah provinsi Jawa Barat sebagai ibu kota provinsi. Kota Bandung terletak pada ketinggian $\pm 768\text{m}$ diatas permukaan laut rata-rata (mean sea level), dengan di daerah utara pada umumnya lebih tinggi daripada di bagian selatan. Ketinggian di sebelah utara adalah ± 1050 di atas permukaan laut, sedangkan di bagian selatan adalah ± 675 di atas permukaan laut.



Gambar 3.1 Peta Daerah (a) Mandalajati (*rural*); (b) Cidadap (*suburban*); (c) Sukasari (*suburban*)

3.2.2 Penentuan Trafik Layanan

Layanan utama yang ditawarkan dalam perkembangan teknologi seluler yaitu layanan voice dan data. Terdapat beragam layanan trafik yang ditawarkan dalam teknologi LTE, dengan akses keseluruhan IP based, maka layanan yang dipilih adalah VoIP, video conference, Realtime gaming, streaming media, IMS signaling, web browsing, video phone, P2P file sharing, email dan FTP. Dengan parameter spesifikasi yang digunakan sebagai acuan perhitungan dan simulasi. Parameter layanan tersebut didapatkan berdasarkan spesifikasi 3GPP dan diambil dari beberapa vendor yang menerapkan spesifikasi tersebut. Di samping itu juga memperhatikan pergerakan *user* dan jumlah rata-rata *user* yang mengakses layanan tersebut sehingga didapat *bit rate* dan *trafik*.

3.2.3 Perancangan Jaringan Akses LTE

Perhitungan jumlah *site* yang dibutuhkan dapat didekati dengan menggunakan dua metode, yaitu berdasarkan *capacity* dan *coverage*. Metode berdasarkan *capacity* menjelaskan jumlah *site* yang diperlukan dalam memenuhi kebutuhan trafik berdasarkan kapasitas sistem yang akan dirancang. Sedangkan metode berdasarkan *coverage* menjelaskan jumlah *site* yang diperlukan berdasarkan kemampuan *coverage* sistem.

3.2.3.1 Perhitungan Number of User

Dalam perhitungan *number of user* menggunakan *forecasting* jumlah user pada persamaan (10)^[15] dengan memperhatikan penetrasi usia produktif, penetrasi operator, dan penetrasi layanan LTE. Berdasarkan data dari pemprov jabar, menunjukkan bahwa jumlah masyarakat kota Bandung [14].

Dalam kota Bandung ini masyarakatnya terdapat sekitar 2.483.977 orang pada tahun 2013, dan saat tahun 2016 masyarakat kota bandng meningkat menjadi 276935 orang. Data tersebut di dapat dari perhitungan *forecasting*. Laju pertumbuhan di kota Bandung ini sebesar 5,63% tiap tahunnya. Sehingga kota Bandung merupakan salah satu kota maju di Indonesia dikarenakan para penduduk di kota Bandung tiap tahunnya meningkat.

3.3 Perbandingan Jumlah Site Coverage dan Capacity

Dari perhitungan jumlah *site* menggunakan pendekatan *capacity* dan coverage diperoleh jumlah *site* yang berbeda.

Tabel 3.1 Tabel Perbandingan Jumlah *site*

Wilayah	Coverage planning	Capacity planning		Number of site
		Uplink	Downlink	
Mandalajati	4	2	5	5
Cidadap	4	2	5	5
Sukasari	8	2	7	8

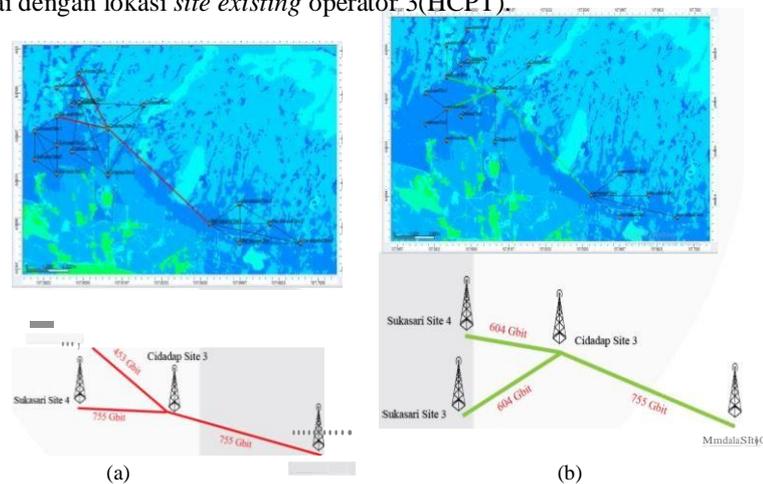
3.4 Hasil Analisis Simulasi

3.4.1 Skenario Pertama

Percobaan skenario pertama dilakukan dengan menggunakan topologi X2 Mesh dan S1 Star. Selain itu dilakukan pengukuran beberapa parameter seperti Jumlah antenna *backhaul*, received *signal level*, *fading margin* dan jumlah trafik dan jumlah *hop*. Konfigurasi jaringan *backhaul* dapat disimulasikan dengan menggunakan *software* Atoll 3.2.1 sesuai dengan lokasi *site existing* operator 3(HCPT).

3.4.2 Skenario Kedua

Percobaan skenario Kedua dilakukan dengan menggunakan topologi X2 Star dan S1 Star. Selain itu dilakukan pengukuran beberapa parameter seperti Jumlah antenna *backhaul*, received *signal level*, *fading margin* dan jumlah trafik dan jumlah *hop*. Konfigurasi jaringan *backhaul* dapat disimulasikan dengan menggunakan *software* Atoll 3.2.1 sesuai dengan lokasi *site existing* operator 3(HCPT).



Gambar 3.2 Hasil Simulasi (a) Skenario Pertama); (b) Skenario Kedua

4 Kesimpulan

1. Pada perencanaan jaringan akses di dapatkan site , network througput dan rata-rata sinyal terima sebesar : Mandalajati : 5 site, 2,14 Gbps, -76,88 dBm ; Cidadap : 5 site, 2,18 Gbps, -75.75 dBm; Sukasari : 8 site, 3,06, -75.75 dBm

2. Pada perencanaan jaringan *backhaul* skenario 1 di dapatkan free space loss rata-rata 121,47 dB, signal level rata-rata -64 dBm, fading margin rata-rata 30,79 dB, membutuhkan 4 hop dan membutuhkan 64 *backhaul minilink*.
3. Pada perencanaan jaringan *backhaul* skenario 2 di dapatkan free space loss rata-rata 119,08 dB, signal level rata-rata -64 dBm, fading margin rata-rata 27,24 dB, membutuhkan 4 hop dan membutuhkan 34 *backhaul minilink*.
4. Dari hasil simulasi skenario yang dilakukan, skenario 1 memiliki jalur yang lebih banyak, sehingga kemungkinan paket gagal terkirim lebih sedikit, karena memiliki banyak jalur alternatif atau jalur cadangan. Dan *handover* lebih efektif karena jalur trafiknya melewati X2 interface sehingga tidak perlu ke MME. Tetapi butuh biaya yang besar, karena terdapat banyak antena *backhaul*.
5. Dari hasil simulasi skenario yang dilakukan, skenario 2 memiliki free space loss rata-rata yang lebih rendah, sehingga power yang disediakan tidak banyak hilang. Dan fading margin kecil sehingga asumsi terjadi fading lebih kecil. Tetapi *handover* terjadi kurang efektif karena setiap enodeB tidak saling terhubung.
6. Hasil analisa perancangan jaringan *backhaul* dalam tugas akhir ini dipilih skenario pertama. Hal ini disebabkan karena secara teknis enodeB harus saling terhubung agar *handover* yang terjadi lebih efektif, tetapi ada kekurangan yaitu biaya lebih besar.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Dahlman, Erick., Stefan Parkvall., & Johan Skold. (2011). *4G LTE/LTE Advanced for Mobile Broadband*. Elsevier. Badan Pusat Statistik Bandung, 2015.
- [2] *Minilink TN R4 Technical Product Presentation*, ANSI.
- [3] RCR Wireless (2014). *Backhaul Basics, A definition*. From <http://www.rcrwireless.com/mobile-backhaul/backhaul-network-definitions-cellular-backhaul-definition/>. 7 June 2014.
- [4] Ron Nativ danTzvika Naveh, dalam buku *Wireless Backhaul Topologies: Analyzing Backhaul Topology Strategies*.
- [5] *MINI-LINK TN release 4 Microwave transmission with advanced integrated traffic handling*.
- [6] Lehpamer, H.: *Microwave transmission network, Second edition*, ISBN: 0071701222, McGraw-Hill Professional, 2010.
- [7] Wijaya, Ari Angga. *Mengenal berbagai macam topologi jaringan serta kelebihan dan kekurangannya*. 2007. Diakses pada <http://ilmukomputer.org/wp-content/uploads/2013/01/angga-TopologiJaringan.pdf> pada 22 April 2016.
- [8] *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods*. Rec. ITU-R P.838-2
- [9] LTE Radio Network Capacity Dimensioning Huawei 2010.
- [10] *Definition & Calculation of Fresnel Clearance Zone*. From <http://www.proxim.com/products/knowledge-center/calculations/calculations-fresnel-clearance-zone>. 7 June 2014.
- [11] *Radio Wave Propagation*. From <http://pathshala-nepal.blogspot.com/2012/09/radio-wave-propagation.html>. 7 June 2014.
- [12] <http://www.ericsson.com/ourportfolio/products/mini-link-tn>. &june 2014.
- [13] Consult4kids (2013). *Physical Safety-Line of Sight*. From <http://consultfourkids.blogspot.com/2013/10/aftertheschoolmovementphysicalsecuritylineofsight.html>. 7 June 2014.
- [14] *RCR Wireless news* (2013). *LTE: Long Term Evolution*. From <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=249>. 7 June 2014.
- [15] Holma, Harri., Antti Toskala.(2009). *LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [16] www.fwd.co.id
- [17] Regulator Management at Telkom Indonesia. "Nominal Planning by Capacity : Number of User."
- [18] Pujiono, Ari. 2011. *Minilink TN Ericson*. Diakses pada 8 Mei 2016 di <http://aripujiono.wordpress.com/436-2/>