

**MANAJEMEN PENGGUNAAN BAND FREKUENSI PADA  
PERANCANGAN JARINGAN *LTE-ADVANCED* MENGGUNAKAN  
METODE *CARRIER AGREGATION***  
**(Skripsi)**

**Oleh**

**MOH FASYIN ABDA**



**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2017**

## **ABSTRACT**

### **MANAGEMENT OF FREQUENCY BAND USAGE IN LTE-ADVANCED NETWORK DESIGN USING CARRIER AGREGATION METHOD**

**By**

**Moh Fasyin Abda**

Long Term Evolution (LTE-Advanced) is an IP-based technology designed as a fast communications service solution. The LTE-A frequency allocation in Indonesia is limited, so that the reusing frequency and aggregated become option to be used. Carrier Aggregation is a feature to combine two or more carrier components with a maximum bandwidth of 20MHz. In this research, the design of LTE-A network is planned by comparing the results of frequency by using the carrier aggregation interband-non contiguous technique and without carrier aggregation. The frequency bands used are 450 MHz, 700 MHz, 2100 MHz and 2600 MHz. This simulation using ATOLL software with 3.2.3 version. The results of simulation show the CA technique provide a throughput of 129,8 Mbps compare to 128,06 Mbps for the non CA at 450 MHz. The CA also provide the 94.59% of user connected. Coverage by signal level on CA method is better than Non CA that is 97,37% with signal value -80 dBm, whereas in non CA technique it has various result value due to the use of propagation model produces different cell radius value. Some of parameters indicate that the designing with the CA technique is better than Non CA. It can be concluded that CA is feasible to be applied in Indonesia.

**Keywords :** Carrier Agregation, Connected User, Throughput, Interband non contiguous, Signal level, CINR.

## **ABSTRAK**

### **MANAJEMEN PENGGUNAAN BAND FREKUENSI PADA PERANCANGAN JARINGAN LTE-ADVANCED MENGGUNAKAN METODE CARRIER AGREGATION**

**Oleh**

**Moh Fasyin Abda**

*Long Term Evolution (LTE- Advanced)* merupakan teknologi berbasis IP yang dirancang sebagai solusi layanan komunikasi yang semakin cepat. Alokasi frekuensi LTE di Indonesia sangat terbatas, sehingga diperlukannya opsi penggunaan ulang atau penggabungan frekuensi yang akan digunakan. CA adalah fitur yang dapat menggabungkan dua atau lebih komponen *carrier* dengan *bandwidth* maksimum 20 MHz. Pada skripsi ini perancangan jaringan LTE-A akan membandingkan hasil kerja frekuensi dengan menggunakan teknik CA *interband-non contiguous* dan tanpa CA. *Band* frekuensi yang digunakan adalah 450 MHz, 700 MHz, 2100 MHz dan 2600 MHz. Hasil uji parameter menunjukkan teknik CA, memberikan nilai *throughput* sebesar 129,8 Mbps dibandingkan dengan teknik tanpa *carrier aggregation* pada frekuensi 450 MHz sebesar 128,06 Mbps. *User connected* sebesar 94,59% dihasilkan dengan metode CA. *Coverage by signal level* pada metode CA lebih unggul sebesar 97,37% dengan nilai sinyal -80 dBm, sedangkan pada teknik non CA memiliki nilai hasil yang beragam dikarenakan pemakaian model propagasi yang berbeda menghasilkan nilai radius sel yang berbeda. Beberapa parameter di atas menunjukkan bahwa hasil perancangan dengan teknik CA nilainya lebih unggul dari Non CA. Sehingga berdasarkan parameter tersebut dapat disimpulkan bahwa CA layak diterapkan di Indonesia.

Kata Kunci : *Carrier Aggregation, Connected User, Throughput, Interband non contiguous, Signal level, CINR*.

**MANAJEMEN PENGGUNAAN *BAND FREKUENSI* PADA  
PERANCANGAN JARINGAN LTE-ADVANCED MENGGUNAKAN  
METODE *CARRIER AGREGATION***

**Oleh**

**Moh Fasyin Abda**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2017**

Judul Skripsi

**: MANAJEMEN PENGGUNAAN *BAND FREKUENSI PADA PERANCANGAN JARINGAN LTE-ADVANCED MENGGUNAKAN METODE CARRIER AGREGATION***

Nama Mahasiswa

**: Moh Fasyin Abda**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031056

Jurusan

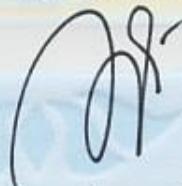
**: Teknik Elektro**

Fakultas

**: Teknik**

**MENYETUJUI**

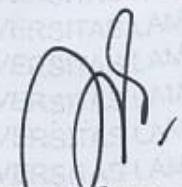
**1. Komisi Pembimbing**



**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**

**NIP 19731128 199903 1 005**

**2. Ketua Jurusan Teknik Elektro**

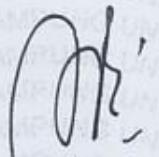


**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**

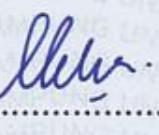
**NIP 19731128 199903 1 005**

## **MENGESAHKAN**

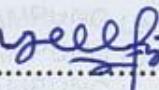
1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.** ..... 

Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T.** ..... 

Penguji

Bukan Pembimbing : **Yetti Yuniati, S.T., M.T.** ..... 

2. Dekan Fakultas Teknik



**Prof. Subarno, M.Sc., Ph.D.**

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **12 Oktober 2017**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang tertulis atau diterbitkan orang lain, kecuali tertulis dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, Desember 2017



## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis dilahirkan di Kota Jambi, Provinsi Jambi pada tanggal 23 November 1995. Penulis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Abdullah Syarieff dan Ibu Eni Latifa yang diberi nama Moh Fasyin Abda.

Mengenai riwayat pendidikan penulis, penulis lulusan Sekolah Dasar (SD) Islam Al-falah Kota Jambi tahun 2007, lulusan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 7 Kota Jambi pada tahun 2010, lulusan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Jambi pada tahun 2013. dan diterima di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung (Unila) pada tahun 2013 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dikegiatan Organisasi Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Fakultas Teknik sebagai Kepala divisi Kewirausahaan pada 2015. Penulis juga menjabat sebagai ketua koordinator Asisten Lab Telekomunikasi. Selain itu Penulis juga pernah melakukan Kerja Praktek (KP) selama 30 hari di Perusahaan PT. XL Axiata, Tbk dibagian *Radio Planning* pada tahun 2016.

*PERSEMBAHAN*



*Dengan Mengharapkan Ridho Allah SWT dan Syafa'at Nabi*

*Muhammad SAW*

*Kupersembahkan Karyaku Ini untuk Orang-Orang yang Telah  
Memberiku Dorongan dan Motivasi Kepadaku dengan Setulus Hati*

*Mama tercinta*

*Eni Latifa*

*Akan*

*Abdullah sy*

*Almamater*

*Universitas Lampung*

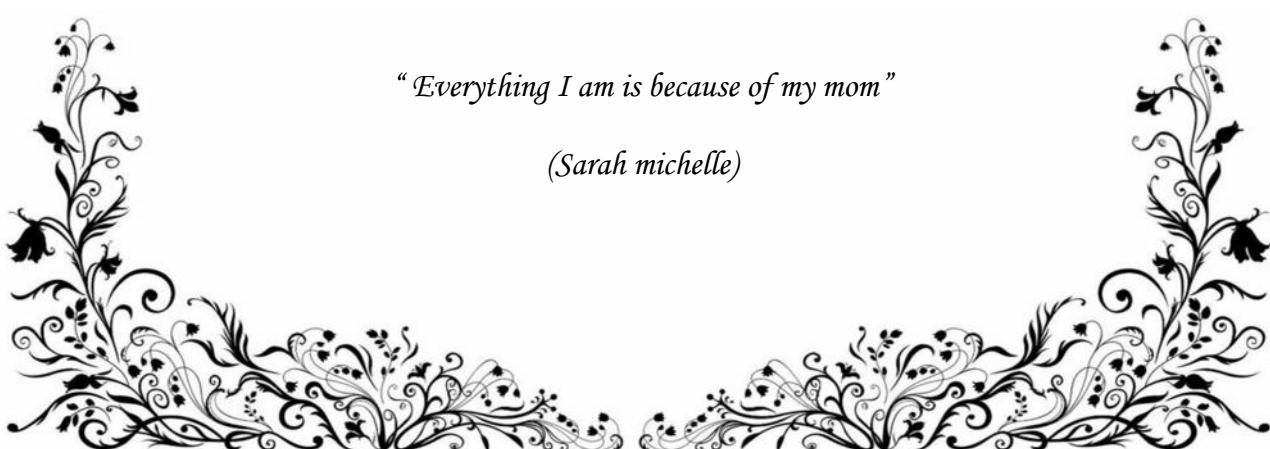
*Bangsa dan Negara  
Republik Indonesia*

*Terima Kasih atas Pelajaran Hidup yang Kalian Berikan*



## *MOTTO*

“Dan apabila hamba-hamba-Ku bertanya kepadamu tentang Aku, maka (jawablah), bahwasanya Aku adalah dekat. Aku mengabulkan permohonan orang yang berdoa apabila ia memohon kepada-Ku, maka hendaklah mereka itu memenuhi (segala perintah-Ku) dan hendaklah mereka beriman kepada-Ku, agar mereka selalu berada dalam kebenaran.” (Al-Baqarah: 186)



“*Everything I am is because of my mom*”

(Sarah Michelle Gellar)

## **SANWACANA**

Segala puji bagi Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya telah memberikan kekuatan dan kemampuan berpikir kepada penulis dalam penyelesaian penulisan Skripsi ini sehingga laporan ini dapat selesai tepat pada waktunya. Sholawat dan salam tak lupa penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW karena dengan perantara beliau kita semua dapat merasakan nikmatnya ibadah, nikamatnya bersyukur, dan insya Allah nikmatnya surga.

Skripsi ini berjudul **“Manajemen Penggunaan Band Frekuensi Pada Perancangan Jaringan LTE Advanced Menggunakan Metode Carrier Aggregation”** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjalani penggerjaan Skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan pemikiran maupun dorongan moral dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung sekaligus Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan serta saran dalam penggerjaan skripsi ini.

3. Bapak Dr. Herman Halomoan S, S.T.,M.T. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Ibu Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T selaku penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberi saran dan kritik yang membangun dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T selaku penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberi saran dan kritik yang membangun dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas didikannya, arahan dan bimbingan yang telah diberikan
7. Mbak Ning beserta jajaran staff Jurusan Teknik Elektro
8. Mama tercinta yang selalu memberikan semangat, dukungan, nasihat, dan do'a yang tak henti-hentinya diberikan selama ini dan selalu ada untuk mendengar cerita penulis selama ini.
9. Om Fadjrul Falah yang telah membantu selama ini, semoga allah membalas kebaikan om dan sekeluarga.
10. Kak bella dan Lia yang selalu mengingatkan untuk menyelesaikan skripsi ini.
11. Grup Mamens, Brades (13) yang telah membuat cerita dan drama pance selama ini.
12. Seluruh teman-teman Teknik Elektro angkatan 2013 atas kebersamaan dan kekeluargaan yang kalian semua berikan kepada penulis, kisah yang tidak akan pernah penulis lupakan sampai kapanpun. Kelak kita akan berkumpul lagi dengan kekeluargaan yang sama seperti saat kita kuliah. Terima kasih

atas nilai kehidupan yang kalian berikan. Bagi penulis kalian keluarga Elektro yang luar biasa

13. Teman-teman KKN Sanggar Buana yang penuh dengan drama dan apa adanya, Terimakasih pengalaman 40 hari yang berharga tanpa penulis 40 hari kalian terasa sepi.
14. Teman-Teman Lab telekomunikasi yang telah mempercayai penulis dalam melakukan perubahan yang lebih baik di lab. Kalian Terbaeq Kak fikihcyu, Boss Angga, Kak toufik, Koh Lim, Muhan, endrew , umi sitro, haryo ndut, soleh solihin, aryok, kaesquh, pinih, sora ida, fitrih, yopi dan staff baru 2016.
15. Group penambah dosa semoga kalian menemukan hidayah hehe.
16. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu persatu yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah sampai dengan terselesaiannya skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandarlampung, Desember 2017

Penulis,

**Moh Fasyin Abda**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vi</b>
<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>PERSEMBAHAN.....</b>	<b>viii</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Perumusan Masalah.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4

1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Kajian Pustaka.....	6
2.2 Sistem Telekomunikasi .....	7
2.2.1 Generasi Pertama (1G) .....	8
2.2.2 Generasi Kedua (2G).....	8
2.2.3 Generasi Dua Setengah ((2,5G) .....	8
2.2.4 Generasi ketiga (3G) .....	9
2.2.5 Generasi 3,5G .....	9
2.2.6 Generasi Keempat (4G).....	9
2.3 <i>Long Term Evolution (LTE)</i> .....	9
2.4 Arsitektur LTE .....	11
2.5 LTE- Advanced.....	12
2.6 Penggunaan Spektrum Frekuensi .....	14
2.7 <i>Carrier Aggregation</i> .....	14
2.7.1 <i>Intraband Contigous</i> .....	15
2.7.2 <i>Intraband Non Contigous</i> .....	15
2.7.3 <i>Interband Non Contigous</i> .....	15
2.8 Tahap Perencanaan.....	16
2.8.1 <i>Planning by Coverage</i> .....	16
2.8.1 .1 <i>Link Budget</i> .....	17
2.8.1.2 Perhitungan SINR.....	19
2.8.1.3 Perhitungan Jari Jari Sektor.....	20

2.8.1.4 Perhitungan Jumlah Sel .....	21
2.8.2 <i>Planning by Capacity</i> .....	22
2.8.2.1 Estimasi Pelanggan.....	22
2.8.2.2 Perhitungan <i>Network Throughput</i> .....	23
2.8.2.3 <i>Throughput Per Cell</i> .....	25
2.8.2.4 <i>Cell Dimensioning</i> .....	27
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	28
3.2 Alat dan Bahan .....	28
3.3 Tahap Pengerjaan Skripsi .....	28
3.3.2 Diagram Alir Skripsi .....	31
3.3.3 Skenario Perancangan .....	32
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Identifikasi Lokasi Simulasi.....	33
4.2 Metode <i>Carrier Agregation</i> .....	36
4.3 <i>Capacity Dimensioning</i> .....	37
4.3.1 <i>Forecasting</i> Pelanggan .....	37
4.3.2 Perhitungan <i>Network Throughput</i> .....	39
4.3.3 Perhitungan <i>Throughput Per cell</i> .....	45
4.3.4 Perhitungan Jumlah site .....	46
4.4 <i>Coverage Dimensioning</i> .....	47
4.4.1 Perhitungan <i>Link Budget</i> .....	48

4.4.2 Perhitungan Luas Sel .....	52
4.4.3 Perhitungan Jumlah Site.....	56
4.5 Simulasi <i>Software Atoll</i> .....	57
4.5.1 Hasil Simulasi .....	57
4.5.1.1. <i>Coverage by Signal Level</i> .....	57
4.5.1.2. <i>Coverage by CINR Level</i> .....	66
4.5.1.3. <i>User Connected</i> dan <i>Throughput</i> .....	74
<b>BAB V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>80</b>
5.1 Simpulan.....	80
5.2 Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar .....	Halaman
2.1 Arsitektur Jaringan LTE.....	12
2.2 Alokasi Frekuensi GSM di Indonesia .....	14
2.3 Metode <i>Carrier Agregation</i> .....	16
2.4 UL <i>Link Budget</i> .....	18
3.1 <i>Flowchart Simulasi</i> .....	31
4.1 Peta Kota Bandar Lampung .....	33
4.2 Klasifikasi Peta Kota Bandar Lampung .....	35
4.3 <i>Inter-Band Non-Contiguous Carrier Aggregation</i> .....	36
4.4 Simulasi <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 450 MHz .....	58
4.5 Histogram <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 450 MHz.....	59
4.6 Simulasi <i>Signal level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 700 MHz.....	60
4.7 Histogram <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 700 MHz.....	60
4.8 Simulasi <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2100 MHz .....	61
4.9 Histogram <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2100 MHz.....	62
4.10 Simulasi <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2600 MHz .....	63
4.11 Histogram <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2600 MHz.....	63
4.12 Simulasi <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik CA .....	64
4.13 Histogram <i>Signal Level LTE-Advanced</i> Teknik CA .....	65
4.14 Perbandingan <i>Signal Level CA</i> dan <i>Non CA</i> .....	66
4.15 Simulasi CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 450 MHz .....	67
4.16 Histogram CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 450 MHz .....	68

4.17 Simulasi CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 700 MHz .....	68
4.18 Histogram CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 700 MHz .....	69
4.19 Simulasi CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2100 MHz .....	70
4.20 Histogram CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2100 MHz .....	70
4.21 Simulasi CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2600 MHz .....	71
4.22 Histogram CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik Non CA 2600 MHz .....	72
4.23 Simulasi CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik CA .....	73
4.24 Histogram CINR <i>LTE-Advanced</i> Teknik CA .....	73
4.25 Simulasi <i>Throughput</i> <i>LTE-Advanced</i> Teknik CA .....	75
4.26 Histogram <i>Throughput</i> <i>LTE-Advanced</i> Teknik CA .....	75
4.28 Histogram <i>Throughput</i> <i>LTE-Advanced</i> Frekuensi 450 MHz .....	76
4.29 Histogram <i>Throughput</i> <i>LTE-Advanced</i> Frekuensi 700 MHz .....	77
4.30 Histogram <i>Throughput</i> <i>LTE-Advanced</i> Frekuensi 2100 MHz .....	77
4.31 Histogram <i>Throughput</i> <i>LTE-Advanced</i> Frekuensi 2600 MHz .....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel.....	Halaman
2.1 <i>Service Model</i> .....	23
2.2 <i>Traffic Model</i> .....	24
2.3 <i>Peak to Average Ratio</i> .....	25
2.4 <i>Radio Overhead</i> .....	27
4.1 Klasifikasi Daerah.....	35
4.2 Total Luas Daerah .....	36
4.3 Estimasi Jumlah <i>User</i> LTE 5 Tahun Mendatang .....	38
4.4 Servis Layanan LTE.....	38
4.5 Trafik Parameter <i>Throughput/Session</i> .....	40
4.6 Trafik Model Berdasarkan Tipe Daerah .....	41
4.7 <i>Peak to Average Ratio</i> Daerah .....	42
4.8 <i>Single User Throughput</i> .....	43
4.9 <i>Single User Throughput Busy Hour</i> .....	43
4.10 <i>Average SINR Interband Non Contigous</i> .....	45
4.11 Jumlah <i>Site Planning by Capacity</i> .....	47
4.12 Parameter <i>Uplink</i> Frekuensi 450 MHz.....	49
4.13 Parameter <i>Downlink</i> Frekuensi 450 MHz .....	50
4.14 Parameter <i>Uplink/Downlink</i> Frekuensi 700 MHz .....	51
4.15 Parameter <i>Uplink/Downlink</i> Frekuensi 2100 MHz .....	51
4.16 Parameter <i>Uplink/Downlink</i> Frekuensi 2600 MHz .....	52
4.17 Jari-Jari Sel Frekuensi .....	55

4.18 Jumlah <i>Site Planning by Coverage</i> .....	56
4.19 <i>Signal Level Quality</i> .....	58
4.20 CINR <i>Level Quality</i> .....	67
4.21 Perbandingan nilai <i>CINR</i> .....	74
4.22 <i>Connected User</i> dan <i>Throughput</i> .....	78
4.23 Perbandingan simulasi CA dan Non CA.....	79

## **DAFTAR ISTILAH**

FDMA	: <i>Frequency Division Multiple Access</i>
TDMA	: <i>Time Division Multiple Access</i>
ETSI	: <i>the European Telecommunication Standard Institute</i>
UMTS	: <i>Universal Mobile Telecommunication Service</i>
CINR	: <i>Carrier Interference Noise to Ratio</i>
ITU	: <i>International Telecommunication Union</i>
HSPA	: <i>High Speed Upload Access</i>
HSDPA	: <i>High Speed Download Access</i>
LTE	: <i>Long Term Evolution</i>
3GPP	: <i>Third Generation Partnership Project</i>
QoS	: <i>Quality Of Service</i>
SUI	: <i>Stanford University Interem</i>
MME	: <i>Mobility Management Entity</i>
eNode B	: evolution Node B
SAE	: <i>System Architecture Evolution</i>
CA	: <i>Carrier Agregation</i>
MAPL	: <i>Maximal Allowed Path Loss</i>

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan jaringan telekomunikasi yang begitu cepat menyebabkan peningkatan akan kebutuhan komunikasi yang praktis dan mudah bagi setiap *user*.

Kebutuhan *user* saat ini bukan saja dalam komunikasi suara tapi juga dalam komunikasi data seperti gambar, *video* dan komunikasi multimedia lain.

Perkembangan dunia telekomunikasi berawal dari teknologi 1G pada tahun 1985 dimana 1G hanya dapat melayani komunikasi suara. Pada tahun 1995 generasi kedua (2G) mulai di perkenalkan dan mulai menggeser teknologi 1G. GSM (*Global System for Mobile Communication*) menggunakan teknologi akses FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) dan TDMA (*Time Division Multiple Access*) yang bekerja pada frekuensi 900MHz berdasarkan standar ETSI (*the European Telecommunication Standard Institute*) dengan lebar pita 25KHz. Pada teknologi 2G layanan yang dapat di akses berupa komunikasi suara dan komunikasi data SMS (*Short Message Service*).

Dunia Telekomunikasi terus mengalami perkembangan pada tahun 2006 teknologi generasi ketiga (3G) mulai di implementasikan. Teknologi 3G ini bukan hanya dikhususkan untuk komunikasi suara saja tetapi juga untuk pertukaran data yang besar, cepat dan dapat digunakan dimana saja.

UMTS (*Universal Mobile Telecommunication Service*) menjadi solusi bagi *user* dalam memenuhi penggunaan komunikasi data maupun suara karena UMTS mampu menyediakan layanan tambahan dari sistem yang telah ada sebelumnya dalam bentuk transmisi data kecepatan tinggi dan multimedia. Selain itu juga untuk menciptakan akses tanpa batas ke layanan komunikasi bergerak pita lebar yang berlaku di seluruh dunia dengan standar yang sama.

Lonjakan jumlah pelanggan telekomunikasi cukup signifikan setiap tahunnya. penambahan jumlah pelanggan juga membawa konsekuensi serius bagi operator dalam menjamin kualitas jaringan yang diberikan kepada pengguna. Teknologi generasi keempat (4G) adalah teknologi yang baru memasuki tahap uji coba. Teknologi ini mendukung *service* multimedia interaktif, *bandwidth* yang lebar dan *bit rates* yang lebih besar dari teknologi 3G. Teknologi ini sepenuhnya pada jaringan *packet switched (All IP)*. Standar 3gpp *release* 10, LTE memberikan kecepatan *uplink* hingga 50 megabit per detik (Mbps) dan kecepatan *downlink* hingga 100 Mbps. *Bandwidth* LTE adalah dari 1,4 MHz hingga 20 MHz [1]. Penyedia layanan jaringan dapat memilih *bandwidth* yang berbeda dan memberikan layanan yang berbeda berdasarkan spektrum.

Metode *carrier aggregation* dapat digunakan untuk terbentuknya layanan 4G LTE karena tujuan desain dari LTE yaitu untuk meningkatkan nilai spektrum yang berbeda pada jaringan, agar memungkinkan untuk menyediakan lebih banyak paket data pada suatu *bandwidth*. Berdasarkan hal tersebut, penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Manajemen Penggunaan *Band* Frekuensi Pada Perancangan Jaringan LTE-Advanced Menggunakan Metode *Carrier Aggregation*”.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan umum skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah eNode B yang dibutuhkan pada 4G LTE- Advanced dengan menggunakan metode *Carrier Agregation* (CA).
2. Menganalisis peningkatan performa layanan 4G LTE Advanced dengan metode *carrier aggregation* pada parameter uji *Coverage By signal*, *Carrier Interference Noise to Ratio (CINR)*, dan *Throughput*.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui bagaimana proses *carrier aggregation* dengan empat sinyal frekuensi yang berbeda pada 4G LTE.
2. Mengetahui performa pada 4G LTE pada simulasi dengan metode *carrier aggregation* dan *non carrier aggregation* berdasarkan parameter uji layanan LTE .
3. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

## 1.4 Rumusan Permasalahan

Layanan 4G LTE mendukung semua jenis data baik berupa gambar, *video*, teks, suara dan multimedia lainnya dengan berbasis penggunaan IP. Sesuai aturan 3GPP *release10* bahwa penggunaan *bandwidth* pada layanan 4G LTE adalah sebesar 20 MHz. Alokasi frekuensi di Indonesia belum memenuhi standar dalam pelaksanaan layanan 4G LTE Advanced, maka dari itu perlu terapkan metode

*carrier aggregation* agar dapat optimasi pemakaian *bandwidth* dengan penggabungan empat komponen *carrier* menjadi satu.

### **1.5 Batasan Masalah**

Pembahasan skripsi ini dibatasi pada hal hal berikut ini :

1. Proses agregasi hanya dibatasi pada empat komponen *carrier* dengan skenario *inter-band non-contiguous* dan tanpa *carrier aggregation*
2. Hanya membahas tentang metode *carrier aggregation* pada layanan 4G LTE
3. Parameter optimasi yang diperoleh adalah *Carrier to Interference Noise Ratio* (CINR), *connected user*, *single throughput*, *coverage by signal level*.
4. Frekuensi *band* yang digunakan dalam simulasi 4G LTE Advanced adalah 450 MHz, 700 MHz, 2100 MHz dan 2600 MHz.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

## **BAB I – PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan.

## **BAB II – TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi skripsi termasuk juga

pengantar pemahaman tentang materi skripsi yang diambil dari berbagai sumber ilmiah seperti buku dan jurnal yang digunakan sebagai panduan dalam penulisan laporan skripsi ini.

### **BAB III – METODE PENELITIAN**

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat pengerjaan skripsi, alat dan bahan, metode yang digunakan, dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan skripsi.

### **BAB IV- HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini membahas dan menganalisa hasil data simulasi dan memaparkan data yang diperoleh dari skripsi ini.

### **BAB V. KESIMPULAN**

Pada bab ini berisikan kesimpulan yang merupakan hasil akhir berdasarkan hasil data yang diperoleh dan pembahasan skripsi serta saran-saran untuk kedepannya.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

*Carrier aggregation* adalah salah satu alternatif lain yang ditawarkan dalam penyelenggaraan layanan 4G LTE Advanced. Penelitian terhadap metode *carrier aggregation* telah di teliti dan terus dikembangkan dalam penelitian. Penulis dalam penelitiannya analisis performansi penerapan *carrier aggregation* dengan perbandingan skenario *secondary cell* pada perencanaan LTE Advanced di DKI Jakarta. Penelitian ini menggunakan *bandwidth* 5 MHz pada frekuensi 900 Mhz dan penambahan *bandwidth* 5 MHz pada frekuensi 18000 MHz. Skenario ini memakai fitur *interband non contiguous*. Didapatkan hasil bahwa dengan menerapkan *Carrier Aggregation Deployment Scenario* (CADS3) memiliki performansi lebih baik dengan tanpa menggunakan *carrier aggregation* dan *Carrier Aggregation Deployment Scenario* (CADS2) pada sisi *Key Performance Index* pada 4G LTE Advanced [2].

Penelitian selanjutnya penulis merancang layanan LTE Advanced dengan fitur *Carrier Aggregation* dan tanpa *Carrier aggregation* dengan metode *Fractional Frequency Reuse* (FFR). Metode FFR ini ditambahkan pada fitur *Carrier Aggregation* agar dapat *management interference* pada permasalahan *co-channel interference*. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa penerapan FFR pada skenario CA terjadi efek yang beragam pada setiap parameter. Terjadi

peningkatan nilai *Carrier Interference Noise to Ratio* (CINR), namun *throughput* dan *connected user* mengalami penurunan performansi dikarenakan terdapat *bandwidth* yang tidak terpakai di tiap selnya [3].

Menurut penelitiannya penulis membuat skenario pada layanan LTE *Advanced* dengan metode *carrier aggregation inter band non contiguous* dan *Intra band non contiguous*. Penulis memanfaatkan frekuensi pada GSM. Perancangan LTE-*Advanced* ini menggunakan *bandwidth* 20 MHz dengan membandingkan skenario *carrier aggregation inter-band non-contiguous* pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz serta *intra-band non-contiguous* pada frekuensi 1800MHz. Hasil parameter yang dihasilkan dari simulasi perencanaan pada sisi CINR adalah *interband non contiguous* lebih unggul dibanding *intraband non contiguous* dengan selisih 4,78% [4].

Berdasarkan salah satu penelitian diatas menunjukan bahwa teknik *carrier aggregation* dapat meningkatkan performa pada layanan jaringan 4G LTE *Advanced*. Literatur diatas menjelaskan bahwa metode *carrier aggregation* memiliki beberapa skenario dalam perencanaan dan fitur yang mendukung metode tersebut dalam meningkatkan performansi jaringan 4G. Berdasarkan beberapa kajian literatur diatas penulis akan menggunakan judul pada skripsi ini yaitu Manajemen Penggunaan *Band* Frekuensi Pada Perancangan Jaringan LTE-*Advanced* Menggunakan Metode *Carrier Aggregation*.

## 2.2 Sistem Telekomunikasi

Kebutuhan akan layanan informasi dan komunikasi di Indonesia terus berkembang pesat dari waktu ke waktu. Berdasarkan Undang Undang RI no 36

tahun 1999 bahwa telekomunikasi adalah setiap pemancaran, pengiriman, atau penerimaan dari setiap informasi dalam bentuk tanda, tulisan, gambar, bunyi dan suara melalui sistem kawat, optik, radio atau sistem elektromagnetik lainnya. Telekomunikasi generasi pertama (1G) di Indonesia dimulai pada tahun 1985.

### **2.2.1 Generasi Pertama (1G)**

Teknologi pertama menggunakan sistem analog dengan teknik komunikasi yang disebut *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). Kemampuan generasi pertama hanya bisa melayani komunikasi suara saja dengan membagi-bagi alokasi frekuensi pada suatu sel untuk digunakan masing-masing pelanggan di sel tersebut.

### **2.2.2 Generasi Kedua (2G)**

Generasi kedua ini menggunakan teknik komunikasi *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan *Code Division Multiple Access* (CDMA). Generasi ini dapat melayani komunikasi suara dan komunikasi data pada kecepatan data rendah.

### **2.2.3 Generasi Dua Setengah (2,5 G)**

Teknologi 2,5G ini merupakan penyempurnaan dari teknologi 2G dengan *platform* GSM yang ada pada teknologi sebelumnya. Pada generasi 2,5 G ini lebih disebut *General Packet Radio Access* (GPRS) dengan kecepatan transfer data hingga 160Kbps

#### **2.2.4 Generasi Ketiga (3G)**

Berdasarkan *International Telecommunication Union* (ITU) generasi ketiga atau 3G adalah teknologi telekomunikasi yang mempunyai kecepatan transfer data sebesar 144 Kbps pada *user* yang bergerak 100km/jam dan kecepatan transfer data sebesar 384 Kbps pada keadaan *soft handover* sedangkan pada keadaan diam kecepatan 3G ini sebesar 2 Mbps.

#### **2.2.5 Generasi Tiga Setengah (3,5G)**

Teknologi ini adalah peningkatan dari jaringan 3G dimana kecepatan transfer data lebih dari 2 Mbps dan teknologi ini lebih dikenal dengan *High Speed Download Access* (HSDPA) atau *High Speed Upload Access* (HSPA).

#### **2.2.6 Generasi Keempat (4G)**

Teknologi ini adalah perkembangan dari generasi ketiga (3G). Teknologi ini mendukung layanan data, suara, *video* dan multimedia lain dengan kecepatan yang besar dimanapun dan kapanpun. Teknologi 4G merupakan sistem berbasis IP yang terintegrasi penuh.

### **2.3 Long Term Evolution (LTE)**

LTE merupakan teknologi terbaru pada jaringan seluler dibandingkan dengan GSM/GPRS/EDGE pada teknologi generasi kedua maupun UMTS/HSDPA pada teknologi generasi ketiga. LTE adalah teknologi radio yang dirancang untuk meningkatkan kapasitas kecepatan jaringan *mobile* telepon. LTE juga merupakan *project* dalam *third generation partnership project* (3GPP). LTE merupakan cikal

bakal teknologi 4G. Adapun tujuan dari pengembangan LTE adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan teknologi berbasis *packet switching*
2. Mengurangi biaya operasional pada arsitektur jaringan
3. Kebutuhan pelanggan akan layanan data dengan kecepatan tinggi *Quality Of Service* (QoS).

*Long Term Evolution* (LTE) juga memiliki beberapa keunggulan dalam penggunaannya bagi pengguna seluler antara lain [5] :

1. LTE memiliki *setup time* serta transfer *delay* yang rendah dengan waktu *handover* yang rendah pula sehingga LTE terbilang jaringan dengan *latency* yang rendah
2. Mendukung *bandwidth* yang bervariasi mulai dari 1 MHz, 3 MHz, 4 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz.
3. Mendukung sistem *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD).
4. Memiliki arsitektur jaringan yang sederhana.
5. Memiliki efisiensi *spectrum* dan *throughput* yang tinggi, LTE menggunakan OFDM pada arah *downlink* dimana teknik ini tahan terhadap lintasan jamak dengan menggunakan *single carrier* FDMA pada sisi *uplink*, memiliki *Peak Average Power Ratio* (PAPR) rendah.
6. LTE mendukung antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) yang dapat meningkatkan BER dan *bit rate*.

LTE dapat beroperasi pada salah satu pita spektrum seluler yang telah dialokasikan dalam standar IMT 2000 yaitu 450 MHz, 700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz dan 2600 MHz.

## 2.4 Arsitektur Long Term Evolution (LTE)

Salah satu keunggulan dari teknologi *Long Term Evolution* (LTE) ini terletak pada arsitektur jaringan yang terbilang sederhana dari teknologi GSM, UMTS ataupun WCDMA. Arsitektur dasar jaringan LTE ini digolongkan atas beberapa bagian yaitu eNode B, *Mobility Management Entity* (MME) dan *Serving Gateway* (SGW) [1].

### 1. eNode B

*eNode B* adalah jaringan akses pada LTE yang berfungsi untuk mengawasi dan mengontrol pengiriman sinyal yang dibawa oleh sinyal radio dan berperan dalam authentikasi.

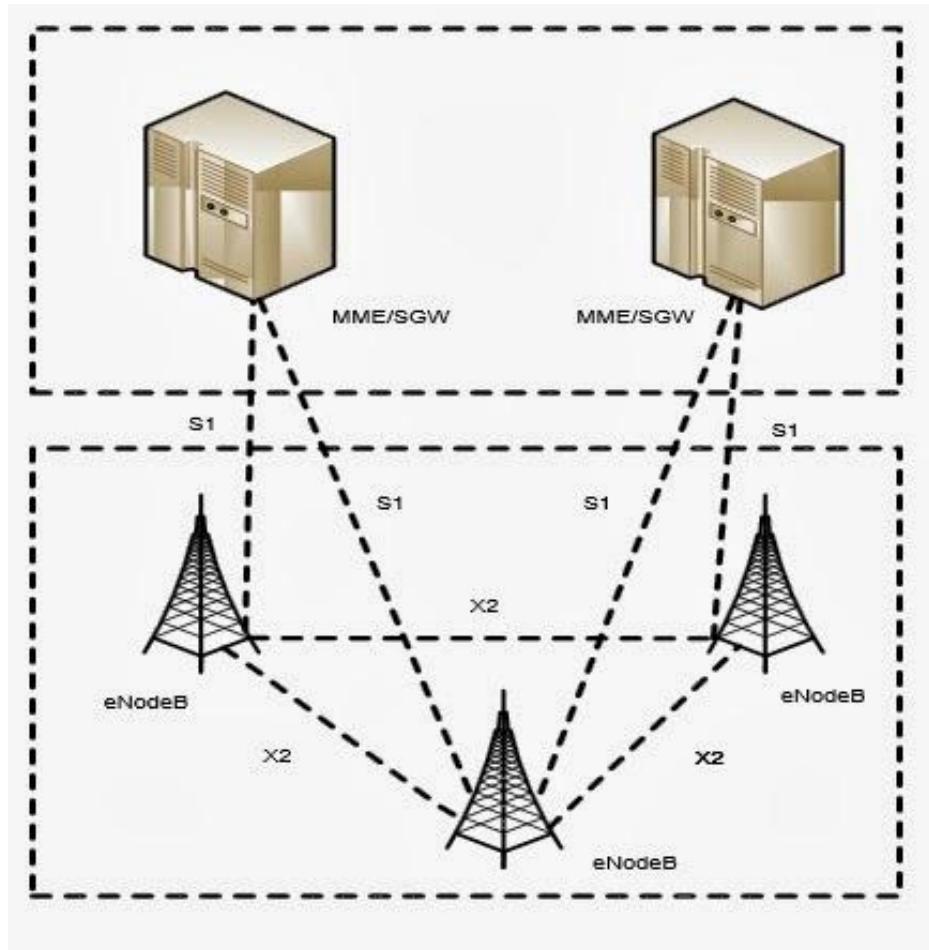
### 2. *Mobile Management Entity* (MME)

MME ini berfungsi selayaknya MSC pada teknologi GSM. Adapun fungsi GSM adalah mengontrol *handover* antar MME, mengatur *handover* dengan jaringan 2G/3G dan mengatur *handover* antar eNode B

### 3. *Serving Gateway*

*Serving gateway* terdiri dari dua bagian, yakni 3GPP *Anchor* dan SAE *Anchor*. 3GPP *Anchor* berfungsi sebagai *gateway* paket data yang berasal dari jaringan 3GPP. Sedangkan *System Architecture Evolution* (SAE) *Anchor* berfungsi sebagai *gateway* dari jaringan non 3GPP .

Adapun bentuk Arsitektur jaringan LTE adalah pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Arsitektur Jaringan LTE [6]

## 2.5 LTE Advanced

*Long Term Evolution* adalah teknologi yang terstandarisasi oleh *3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project* (3GPP) dan dianggap dalam kondisi cukup. Sejak tahun 2009 teknologi LTE telah mengalami perkembangan yang pesat dengan GSM dan UMTS sebagai dasar pengembangan, *International Telecommunication Union* (ITU) menciptakan istilah *LTE Advanced* untuk sistem komunikasi yang melampaui kemampuan dari LTE. Secara spesifikasi kebutuhan akan data *rate*

pada LTE *advanced* meningkat dari sebelumnya. LTE *advanced* ini distandarisasi oleh 3GPP *release*10. Beberapa kelebihan yang ditambahkan pada fitur LTE *advanced* adalah [5]:

1. Penggunaan *bandwidth* yang lebar yang memungkinkan pemakaian *carrier aggregation*
2. Peningkatan efisiensi disebabkan oleh peningkatan *multiple access* pada sisi *uplink* dan peningkatan antena transmisi.
3. Peak data *rates* ditingkatkan menjadi 3 Gbps (*downlink*) dan 1,5 Gbps (*uplink*).

LTE *release*8 dapat beroperasi pada *band* frekuensi [5]:

1. 450-470 MHz
2. 698-862 MHz
3. 790-862 MHz
4. 2,3-2,4 GHz
5. 3,4-4,2 GHz
6. 4,4-4,99 GHz

*Band* frekuensi diatas juga termasuk dapat bekerja pada 3GPP *release* 9 dan *release* 10. LTE *Advanced* didesain beroperasi pada alokasi spektrum yang memiliki beda ukuran *band* termasuk pada alokasi *bandwidth* yang lebih besar dari 20MHz demi mencapai performa yang tinggi dan *peak* data yang besar. Demi mencapai target terselenggaranya 4G LTE *Advanced* ini maka beberapa metode ini dapat dilakukan agar layanan ini dapat dirancang yaitu : peningkatan akses pada sisi *uplink*, meningkatkan jumlah antena transmisi dan dengan metode *carrier aggregation*.

## 2.6 Penggunaan spketrum Frekuensi di Indonesia

Perkembangan telekomunikasi di Indonesia terbilang pesat. Pengguna dan kebutuhan data yang selalu meningkat setiap waktunya adalah faktor pesatnya pertumbuhan. Menjaga kualitas tentunya adalah prioritas dari setiap penyedia layanan telekomunikasi di Indonesia. LTE *advanced* atau yang dikenal 4G LTE merupakan solusi dalam memenuhi kebutuhan pemakaian akses data. Di Indonesia layanan 4G LTE belum dapat digelar dengan ketentuan yang ada yaitu lebar *bandwidth* sebesar 20 MHz.



Gambar 2.2 alokasi frekuensi GSM 900 MHz di Indonesia [7]

Gambar 2.2 di atas menjelaskan bahwa penggunaan frekuensi GSM pada operator di Indonesia memiliki *bandwidth* sebesar 7,5 MHz-10 MHz. Jaringan UMTS di Indonesia memiliki *bandwidth* sebesar 10 MHz-15 MHz, ini membuktikan bahwa belum adanya ruang *bandwidth* yang memenuhi standar dalam penyelenggaraan 4G LTE di Indonesia.

## 2.7 Carrier Aggregation (CA)

*Carrier aggregation* merupakan suatu teknik penggunaan dua atau lebih frekuensi *carrier* secara bersamaan baik pada band frekuensi yang sama maupun berbeda demi memperbesar penggunaan *bandwidth* sehingga peningkatan kapasitas jaringan dapat diciptakan. *Carrier aggregation* memiliki tiga fitur antara lain :

1. *Carrier Aggregation intra-band contiguous*
2. *Carrier aggregation intra-band non-contiguous*
3. *Carrier aggregation inter-band non-contiguous*

Pada perancangan simulasi ini metode yang dipilih adalah *Carrier aggregation inter-band non-contiguous*. Metode ini dipilih dikarenakan pemakaian band frekuensi yang terpisah satu sama lain.

#### **2.7.1 *Intra band contiguous carrier aggregation***

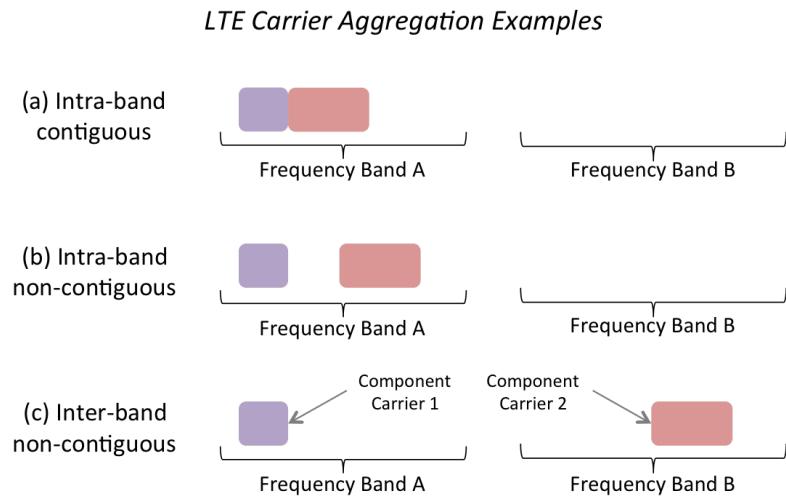
Pada skenario ini *band* yang digunakan hanya satu atau *single band*. Metode ini sederhana dari implementasi LTE. Jarak antara frekuensi pusat dengan yang lain sebesar kelipatan 300 KHz agar kompatibel dengan frekuensi 100 KHz pada *release 8/9* [6].

#### **2.7.2 *Intra band non contiguous***

Metode ini berbeda dari yang pertama dimana *carrier* yang digunakan berdekatan satu sama lain. Sinyal *carrier* tidak dapat dijadikan menjadi sinyal tunggal dikarenakan posisi antar *carrier* diselingi oleh *carrier* lain.

#### **2.7.3 *Inter band non contiguous***

Jenis CA ini menggunakan band yang bebeda. Penggabungan dua buah *carrier* ini berada pada *band* frekuensi yang berbeda. Penjelasan dari ketiga metode ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :



**Gambar 2.3** Metode *Carrier Aggregation* [8]

## 2.8 Tahap Perencanaan

Tahapan yang dilakukan sebelum merancang jaringan LTE terdapat beberapa hal yang harus dilakukan seperti mengetahui jaringan pada daerah tinjauan. Terdapat dua tahapan secara garis besar yaitu perencanaan berdasarkan kapasitas (*planning by capacity*) dan perencanaan berdasarkan luas area (*planning by coverage*). Beberapa aspek yang perlu di perhatikan dari kedua *planning* tersebut seperti daya pancar, *path loss*, *link budget*, luas sel, model propagasi dan lainnya.

### 2.8.1 *Planning by coverage*

Teknik perencanaan ini digunakan untuk menghitung jumlah sel yang dibutuhkan pada daerah yang di tinjau. *Coverage planning* mempertimbangkan *gain* dan *loss* dari spesifikasi perangkat. Model propagasi yang digunakan juga akan mempengaruhi hasil radius sel. *Coverage planning* terdapat beberapa parameter yang diperhatikan antara lain pengukuran RSRP dimana mengukur kuat sinyal pada *cell* LTE. Selanjutnya adalah RSSI yang merupakan total *power* yang

diterima termasuk interferensi dan *noise*. Parameter ketiga adalah SINR yang merupakan rasio antara rata rata power yang diterima dengan rata rata interferensi dan *noise*. Langkah pertama dilakukan adalah menghitung *link budget* yaitu untuk mengetahui nilai *maximal allowed path loss* (MAPL) antara *transmitter* dan *receiver*.

### **2.8.1.1 Link Budget**

Perhitungan *link budget* dimaksudkan untuk dapat menghitung atau merencanakan kebutuhan daya sistem seluler sedemikian rupa, sehingga kualitas sinyal di penerima memenuhi standar yang diinginkan. Pada perencanaan sistem transmisi radio digital, perhitungan power *link budget* atau *path analysis* mengambil peran penting agar hasil rancangan dapat mencapai hasil yang optimum dan efisiensi baik dari segi kehandalan teknis maupun biasa. Perhitungan *link budget* dapat memperoleh nilai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) yang sangat menentukan untuk perhitungan jarak atau radius sel dalam menentukan *coverage* area, juga dapat mengetahui level daya yang diterima (*Received Signal Level*) yang diterima oleh penerima, hal ini dapat menentukan *availability* dari sistem yang dirancang dan besarnya harus sesuai dengan kualitas yang di inginkan. *Link budget* terdapat dua bagian yaitu : *Uplink/ Link reverse* (dari MS menuju BTS) dan *downlink/ link forward* (dari BTS menuju MS). Nilai *Maximum Allowable Path Loss* menjadi salah satu parameter pada *link budget*, parameter tersebut dihitung dengan persamaan berikut [9]:

$$\text{MAPL}_{\text{uplink}} = \text{EIRP}_{\text{subcarrier}} - \text{MSRS} - \text{PL} - \text{SF} \quad (2.1)$$

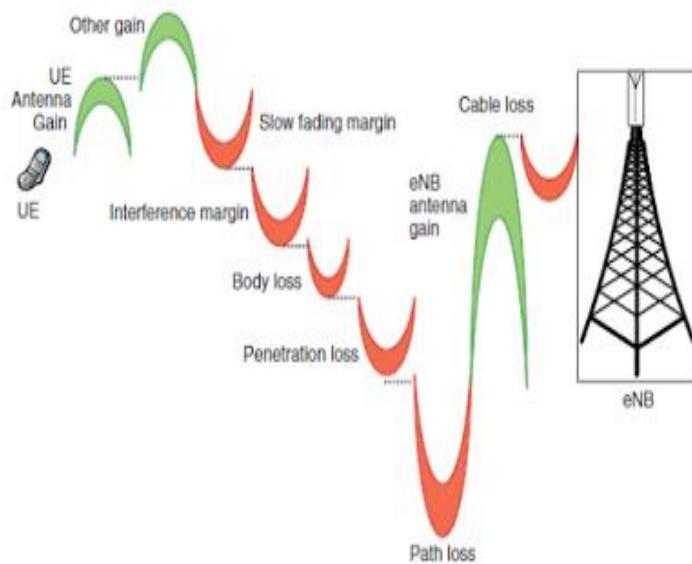
$$\text{MSRS} = \text{RSeNodeB} - \text{GR} + \text{Lcable} + \text{IM} \quad (2.2)$$

$$\mathbf{RSeNodeB} = \mathbf{SINR} + \mathbf{TNeNodeB} + \mathbf{NFeNodeB} \quad (2.3)$$

dengan :

$\mathbf{MAPL}_{uplink}$	: Maximum Allowable Path Loss uplink (dB)
$\mathbf{EIRP}_{subcarrier}$	: Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier (dBm)
$\mathbf{MSRS}$	: Minimum signal reception strength (dBm)
$\mathbf{PL}$	: Penetration loss (dB)
$\mathbf{SF}$	: Shadow fading margin (dB)
$\mathbf{RSeNodeB}$	: Receiver Sensitivity eNodeB (dBm)
$\mathbf{IM}$	: Interference Margin (dB)
$\mathbf{GR}$	: Gain antenna receiver (dB)
$\mathbf{NFeNodeB}$	: Noise Figure eNodeB (dB)
$\mathbf{TNeNodeB}$	: Thermal Noise per sub-carrier (dBm)
$\mathbf{SINR}$	: Required Signal Interference Noise Ratio

Adapun ilustrasi *link budget* pada sisi *uplink* pada Gambar 2.4 :



**Gambar 2.4 UL link Budget**

Menghitung MAPL arah *downlink* dapat menggunakan persamaan [9]:

$$\mathbf{MAPL}_{downlink} = \mathbf{EIRP}_{subcarrier} - \mathbf{MSRS} - \mathbf{PL} - \mathbf{SF} \quad (2.4)$$

$$\mathbf{MSRS} = \mathbf{RSue} + \mathbf{LR}_{body} + \mathbf{IM} \quad (2.5)$$

$$\mathbf{RSue} = \mathbf{TN} + \mathbf{NFue} + \mathbf{SINR} \quad (2.6)$$

$$\mathbf{EIRP}_{subcarrier} = \mathbf{P}_{subcarrier} + \mathbf{GT} - \mathbf{Lt}_{cable} \quad (2.7)$$

dengan :

<b>MAPLdownlink:</b>	<i>Maximum Allowable Path Loss downlink (dB)</i>
<b>EIRPsubcarrier:</b>	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier (dBm)</i>
<b>MSRS</b>	<i>: Minimum signal reception strength (dBm)</i>
<b>PL</b>	<i>: Penetration loss (dB)</i>
<b>SF</b>	<i>: Shadow fading margin (dB)</i>
<b>MSRS</b>	<i>: Minimum Signal Reception Strength (dBm)</i>
<b>RSue</b>	<i>: Receiver Sensitivity UE (dBm)</i>
<b>LRbody</b>	<i>: Loss body receiver (dB)</i>
<b>IM</b>	<i>: Interference Margin (dB)</i>
<b>TN</b>	<i>: Thermal Noise per subcarrier (dBm)</i>
<b>NFue</b>	<i>: Noise Figure UE (dB)</i>
<b>SINR</b>	<i>: Required Signal Interference Noise Ratio (dB)</i>
<b>Psubcarrier</b>	<i>: subcarrier power transmit (dBm)</i>
<b>GT</b>	<i>: gain antenna transmitter (dBi)</i>
<b>LTcable</b>	<i>: loss cable transmitter</i>

### 2.8.1.2 Perhitungan SINR

SINR dapat dikatakan sebagai perbandingan antara kuat sinyal terhadap kuat interferensi yang ditambah *noise* yang dipancarkan oleh *cell*. Untuk mendapatkan kualitas sinyal pada penerima maka SINR perlu untuk diperhitungkan. Adapun kualitas sinyal pada sisi *eNode B* dan pada sisi *handset* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [10]:

$$\text{SINR} = \frac{S}{I+N} \quad (2.8)$$

Parameter ini dapat memberikan kelas pada daya minimum dimana *user* masih dapat melakukan akses atau panggilan. Pada persamaan diatas bahwa SINR adalah rasio perbandingan daya sinyal dan daya interferensi ditambah *noise*

S = Daya sinyal

I = Daya Interferensi

N = Daya *Noise*

### 2.8.1.3 Perhitungan jari-jari sektor

Jari-jari sektor dapat diketahui dengan memasukkan nilai MAPL ke dalam persamaan model propagasi yang diinginkan. Pada Skripsi ini Okumura-Hata dipilih sebagai model propagasi yang digunakan pada range frekuensi 450 MHz dan 700 Mhz dikarenakan model propagasi okumura-hatta memiliki range frekuensi perhitungan dari 150-1500 MHz sedangkan untuk frekuensi 2100 dan 2600 MHz model propagasi yang digunakan adalah SUI (*Stanford University Interem*)/Erceg dimana SUI dapat mencakup frekuensi antara 2000-3000 MHz.

Persamaan model propagaasi Okumura-Hata sebagai berikut [11]:

$$L = 69.55 + 26.16 \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 13,82 \log\left(\frac{h_t}{m}\right) - a(h_r) + s \log\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + L_{\text{clutter}} \quad (2.9)$$

dengan :

$L$	= Redaman lintasan
$f$	= Frekuensi (MHz)
$h_t$	= Tinggi antena <i>base station</i>
$h_r$	= Tinggi antena <i>mobile station</i>
$d$	= jarak antara Tx-Rx
$a(h_r)$	= Faktor koreksi tinggi antena <i>mobile station</i>

Nilai faktor koreksi tinggi antena *mobile station* adalah :

$$a(h_r) = \begin{cases} 3.2 [\log(11.75h_r)]^2 - 4.97 & \text{DU, U} \\ [1.1 \log(f) - 0.7]h_r - [1.56 \log(f) - 0.8] & \text{SU} \end{cases} \quad (2.10)$$

$$CM = \begin{cases} 3 & DU \\ 0 & U \\ -\left(2 \cdot \left[\log\left(\frac{f}{28}\right)\right]^2 + 5.4\right) & SU \\ -\left(4.78 [\log(f)]^2 - 18.33 \log(f) + 40.94\right) & RURAL \\ -\left(4.78 [\log(f)]^2 - 18.33 \log(f) + 35.94\right) & ROAD \end{cases}$$

Untuk model propagasi SIU digunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_p = 109,78 + 47,9 \log(d/100) \quad (2.11)$$

#### 2.8.1.4 Perhitungan jumlah sel

Berdasarkan hasil perhitungan *link budget* dan dengan menggunakan persamaan *pathloss* di atas dapat dihitung *coverage range* dan juga jumlah sel yang diperlukan untuk mengcover area tertentu.

Perhitungan jumlah sel berdasarkan radius jangkauan menggunakan luas daerah yang dicakup terhadap luas daerah tinjauan. *Coverage area* untuk satu sel *trisectoral* dapat dihitung dengan persamaan[10]

$$L = 1,95 * d^2 \quad (2.12)$$

*L* = *Coverage area*

*d* = radius sel

Jumlah sel yang dibutuhkan dapat diperoleh dari hasil bagi antara luas daerah perencanaan dengan luas cakupan suatu sel, sehingga dapat diperoleh jumlah sel yang dibutuhkan yaitu dengan persamaan :

$$\sum \text{sel} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas sel}} \quad (2.13)$$

- |                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| $\sum \text{LTE Cell}$ | : Jumlah site LTE pada suatu daerah |
| Luas area              | : Luas daerah perencanaan           |
| Luas sel               | : Luas sel LTE                      |

### **2.8.2 Planning by capacity**

*Planning by capacity* merupakan tahap awal dalam perencanaan kapasitas yang bertujuan untuk menentukan *cell radius* dan mengestimasi jumlah eNodeB yang diperlukan. Menentukan *cell radius* pada perencanaan kapasitas adalah dengan mengetahui nilai luas sel terlebih dahulu. Adapun langkah langkah dalam perhitungan kapasitas adalah sebagai berikut :

- *forecasting* jumlah pelanggan
- Perhitungan *network throughput*
- Perhitungan *throughput per cell*
- Perhitungan jumlah sel
- Perhitungan jumlah *site*

Setelah mengetahui luas sel yang akan ditinjau maka tahap selanjutnya adalah *forecasting* jumlah pelanggan, dilanjutkan dengan menghitung *network throughput*, *throughput per cell*, dan menghitung jumlah *site*.

#### **2.8.2.1 Estimasi Pelanggan**

Perhitungan jumlah pelanggan bertujuan agar dapat mengetahui besarnya jumlah pelanggan yang akan menggunakan atau mengakses jaringan yang akan dirancang. Asumsi pengguna ponsel yang aktif adalah penduduk dengan golongan usia dari 15-60 tahun. Asumsi juga dilakukan dengan besarnya persentasi pengguna LTE pada suatu operator. Perhitungan banyaknya pelanggan dapat dirumuskan sebagai berikut [12]:

$$U_n = U_0 (1+gf)^n \quad (2.14)$$

Un : Jumlah pelanggan pada tahun ke-n  
 Uo : Jumlah pelanggan pada tahun acuan

$gf$  : Faktor pertumbuhan pelanggan  
 $n$  : Tahun yang akan diprediksi

### 2.8.2.2 Perhitungan *Network Throughput*

Untuk mempertahankan kualitas layanan-layanan tersebut perlu dilakukan estimasi nilai *throughput* yang harus disediakan oleh suatu jaringan. Perhitungan *Network throughput* berfungsi untuk mengetahui total *throughput* yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan seluruh pelanggan. Perhitungan *Network Throughput* membutuhkan perhitungan sebelumnya yaitu menghitung *throughput/session*, menghitung *single user throughput* dan menghitung *uplink downlink throughput*. Perhitungan *throughput/session* diperlukan untuk mengetahui setiap kebutuhan *data rate* pada setiap sesi layanan LTE.

Tabel 2.1 *Service model* [14]

Traffic Parameters	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
VoIP	26,90	80	0,4	1%	26,9	80	0,4	1%
Video Phone	62,53	70	1	1%	62,53	70	1	1%
Video Conference	62,53	1800	1	1%	62,53	1800	1	1%
Real Time Gaming	31,26	1800	0,2	1%	125,06	1800	0,4	1%
Streaming Media	31,26	3600	0,05	1%	250,11	3600	0,95	1%
IMS Signalling	15,63	7	0,2	1%	15,63	7	0,2	1%
Web Browsing	62,53	1800	0,05	1%	250,11	1800	0,05	1%
File Transfer	140,69	600	1	1%	750,34	600	1	1%
Email	140,69	50	1	1%	750,34	15	1	1%

*Throughput/session* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [10]:

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{session}} = \text{Bearer Rate} \times \text{PPP Session Time} \times \text{PPP Session DR} \times \frac{1}{1-\text{BLER}} \quad (2.15)$$

dengan :

- Throughput/ session* : throughput yang dibutuhkan user
- BLER* : *block error rate* per sesi
- Bearer Rate* : *data rate* yang disediakan layanan
- PPP session time* : rata rata durasi
- PPP session DR* : rasio data yang terkirim

Setelah mengetahui *service model* dan perhitungannya maka selanjutnya adalah perhitungan untuk *traffic penetration ratio* dan *busy hour service attempt* yang dapat dilanjutkan untuk perhitungan *single user throughput*. Berikut adalah tabel *traffic model* berdasarkan tipe daerah :

Tabel 2.2 *Traffic Model* tiap daerah [14]

User Behaviour	Dense Urban		Urban		Suburban	
	Traffic Penetration Ratio	BHSA	Penetration Ratio	BHSA	Penetration Ratio	BHSA
VoIP	100%	1,4	100%	1,3	50%	1
Video Phone	20%	0,2	20%	0,16	10%	0,1
Video Conference	20%	0,2	15%	0,15	10%	0,1
Real Time Gaming	30%	0,2	20%	0,2	10%	0,1
Streaming Media	15%	0,2	15%	0,15	5%	0,1
IMS Signalling	40%	5	30%	4	25%	3
Web Browsing	100%	0,6	100%	0,4	40%	0,3
File Transfer	20%	0,3	20%	0,2	20%	0,2
Email	10%	0,4	10%	0,3	10%	0,2
P2P File Sharing	20%	0,2	20%	0,3	20%	0,2

Perhitungan *Single user throughput* juga membutuhkan parameter lain *yaitu peak to average ratio*. *Peak to Average Ratio* adalah asumsi persentasi tertinggi kelebihan beban pada suatu jaringan atau nilai lebih yang ditambahkan pada

perhitungan untuk mengantisipasi apabila terjadi lonjakan trafik. Berikut tabel

*Peak to Average Ratio :*

Tabel 2.3 *Peak to Average Ratio* tiap daerah

Morphology	Dense Urban	Urban	Suburban
<i>Peak to Average Ratio</i>	40%	20%	10%

Persamaan di bawah ini digunakan untuk menghitung *single user throughput* [14]:

$$Sut(IP) = \frac{\Sigma [(t \text{ Session}) \times BHSA \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{Peak Average Ratio})]}{3600} \quad (2.16)$$

Setelah mengetahui nilai dari *single user throughput*, selanjutnya dapat dihitung nilai total *throughput* pada sisi *uplink* maupun *downlink* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [10]:

$$\text{UL Net}(IP) = JP \times \text{UL Single user throughput} \quad (2.17)$$

$$\text{DL Net}(IP) = JP \times \text{DL Single user throughput} \quad (2.18)$$

dengan :

- UL Net (IP) : *Uplink network throughput* (IP)
- DL Net (IP) : *Downlink network throughput* (IP)
- JP : Jumlah pelanggan berdasarkan hasil *forecasting*
- UL Single User Throughput* : Total *uplink throughput* yang harus dipenuhi oleh *single user* pada tiap tipe daerah tertentu.
- DL Single User Throughput* : Total *uplink throughput* yang harus dipenuhi oleh *single user* pada tiap tipe daerah tertentu.

### 2.8.2.3 *Throughput per cell*

Perhitungan *throughput per cell* bertujuan untuk mengetahui kapasitas UL dan DL pada suatu sel. Dalam menghitung *throughput per cell* melalui beberapa langkah yaitu: menghitung UL dan DL MAC layer *throughput*, kemudian menghitung *cell*

*average throughput*, dan selanjutnya menghitung *throughput per cell*. Perhitungan *uplink* dan *downlink* MAC *layer throughput* dan *Cell average throughput* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [14]:

$$\text{UL}_{\text{MAC}} + \text{CRC} = (\text{NRE} - \text{NrREUL}) \times \text{Code bits} \times \text{Code rate} \times \text{Nrb} \times C \times 1000 \quad (2.19)$$

$$\text{DL}_{\text{MAC}} + \text{CRC} = (\text{NRE} - \text{NcRE} - \text{NrREUL}) \times \text{Code bits} \times \text{Code rate} \times \text{Nrb} \times C \times 1000 \quad (2.20)$$

$$\text{Cell average throughput(MAC)} = \sum_{n=1}^{n=8} P_n \times R_n \quad (2.21)$$

dengan:

<i>UL MAC Trough</i>	= <i>Uplink MAC layer throughput</i>
<i>DL MAC Trough</i>	= <i>Downlink MAC layer throughput</i>
<i>CRC</i>	= <i>Cyclic Redundancy Check</i> (24 bits)
<i>NRE</i>	= Jumlah <i>resource element</i> (RE) dalam 1 ms (168)
<i>NcRE</i>	= Jumlah <i>control channel</i> RE dalam 1 ms (36)
<i>NrRE</i>	= Jumlah <i>reference signal</i> RE dalam 1 ms (12)
<i>NrReUL</i>	= Jumlah <i>reference signal</i> RE dalam 1 ms pada <i>uplink</i> (24)
<i>Code bits</i>	= <i>Modulation efficiency</i>
<i>Code Rate</i>	= <i>Channel coding rate</i>
<i>Nrb</i>	= Jumlah <i>resource blok</i> yang akan digunakan
<i>C</i>	= Mode antena MIMO
<i>Pn</i>	= <i>SINR probability</i>
<i>Rn</i>	= <i>DL/UL cell throughput</i>

Selanjutnya *throughput per cell* akan dihitung dengan mengkonversi *cell layer throughput* (MAC) ke *layer IP*. Proses konversi ini menggunakan perhitungan *radio overhead* yang terdapat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 *Radio Overhead* [14]

<i>Protocol Layer</i>	<i>Average Packet Size (Byte)</i>	<i>Relative Efficiency</i>	<i>Symbol</i>
IP	300		-
PDCP	302	99,34%	A
RLC	304	99,34%	B
MAC	306	99,35%	C
PHY			-

Sehingga *throughput per cell* dapat dihitung menggunakan persamaan [14]:

$$\text{Throughput per cell(IP)} = \text{Cell average throughput (MAC)} \times A \times B \times C \quad (2.21)$$

### 2.8.2.3 Cell Dimensioning

Jumlah sel yang dibutuhkan untuk dapat menangani trafik berdasarkan perhitungan *capacity planning* dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [10]:

Jumlah sel *uplink* :

$$\text{Jumlah Sel UL} = \frac{\text{UL Network Throughput}}{\text{Throughput per cell}} \quad (2.22)$$

Jumlah sel *downlink*

$$\text{Jumlah Sel DL} = \frac{\text{DL Network Throughput}}{\text{Throughput per cell}} \quad (2.23)$$

Jumlah *site*

$$\text{Jumlah Site} = \frac{\text{Jumlah sel}}{3} \quad (2.24)$$

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Skripsi ini dilaksanakan pada bulan Desember 2016 – Oktober 2017 di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Pada penggerjaan skripsi ini adapun alat dan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Satu unit Laptop dengan sistem operasi Windows 8.1 Pro 64 bit sebagai media perancangan dan pengujian simulasi
2. Perangkat lunak ATOLL sebagai perangkat lunak utama untuk perancangan dan simulasi.
3. Data data perhitungan dan data kependudukan dari Badan pusat statistik.
4. Data spesifikasi perangkat seluler pendukung.

#### **3.3. Tahap Pengerjaan Skripsi**

Berikut ini adalah langkah kerja yang dilakukan untuk menyelesaikan skripsi yaitu:

## 1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu mempelajari materi yang berkaitan dengan tugas akhir. Materi tersebut berasal dari berbagai referensi atau sumber-sumber ilmiah lainnya seperti jurnal ilmiah, skripsi-skripsi, buku-buku yang terkait dengan skripsi.

## 2. Studi Bimbingan

Penulis juga melakukan studi bimbingan yaitu dengan cara berdiskusi dan tanya jawab dengan dosen pembimbing untuk menambah wawasan dan menyelesaikan kendala yang terjadi saat melaksanakan skripsi.

## 3. Penentuan Lokasi Simulasi.

Lokasi adalah tahapan dalam perancangan simulasi skripsi. Penulis menggunakan empat kecamatan pada kota Bandar lampung dalam perancangan skripsi, adapun kecamatan tersebut adalah wayhalim, sukarame, tanjung karang pusat, kedaton.

## 4. Perencanaan dan Metode Simulasi

Pada tahapan pengerjaan skripsi ini menggunakan dua perencanaan antara lain *planning by coverage* dan *planning by capacity* dengan parameter yang menentukan kualitas suau jaringan 4G LTE. Metode yang digunakan adalah *carrier aggregation* dan *non carrier aggregation* dengan penggunaan frekuensi pada 450 MHz, 700 MHz, 2100 MHz dan 2600 MHz. Pada metode *carrier aggregation* ini digunakan konsep *carrier aggregation inter band-non contiguous* dengan *bandwith* masing masing 5 MHz.

## 5. Diagram Alir Penelitian

Sebelum melakukan simulasi untuk merancang jaringan LTE pada *software* maka perlu dibuat diagram alir yang akan dilakukan pada penelitian skripsi ini atau bisa disebut *flowchart* penelitian.

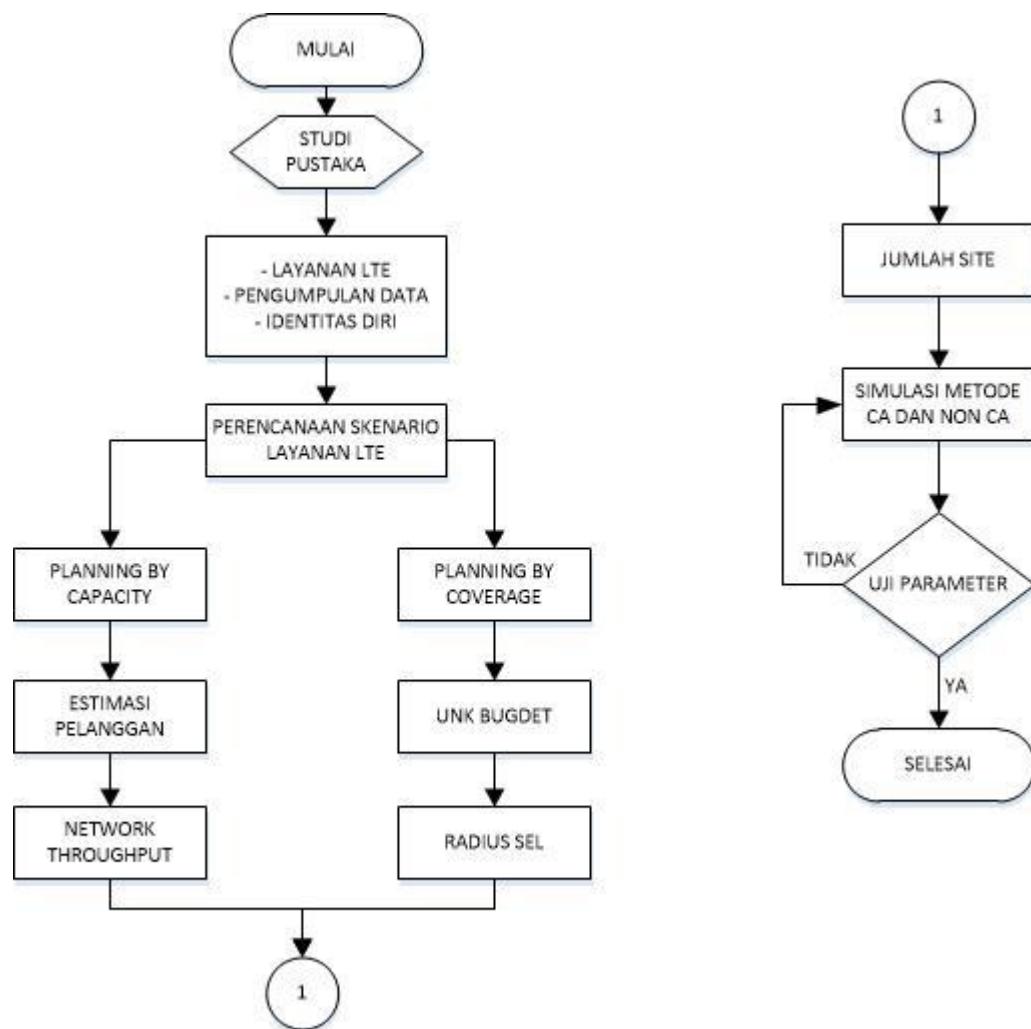
## 6. Simulasi *software* Atoll

Pada tahap ini pengujian dan simulasi dilakukan di *software* ATOLL versi 3.2.1.5838. dengan mekanisme *carrier aggregation interband non contiguous*.

## 7. Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan ini menjadi tahap akhir dari skripsi ini yang menjadi hasil nyata dan bukti telah dilakukannya skripsi ini dengan sebenarnya sebagai syarat untuk menyelesaikan program S1 Teknik Elektro Universitas Lampung dan menjadi pertanggungjawaban. Pengerjaan skripsi ini dibagi kedalam dua tahap, yaitu laporan awal dari bab 1 sampai bab 3 yang digunakan untuk seminar usul dan laporan akhir yang digunakan untuk seminar hasil.

### 3.4 Diagram Alir Skripsi



**Gambar 3.1** *Flowchart Simulasi*

### 3.5 Skenario Perancangan

Skripsi ini dilakukan dengan perbandingan metode dengan menggunakan *carrier aggregation interband non contiguous* dan *Non carrier aggregation* pada setiap *band* frekuensi. Adapun skenario tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Carrier aggregation* pada frekuensi 450 MHz, 700 MHz, 2100 MHz dan 2600 Mhz.
2. *Non Carrier Aggregation* pada frekuensi 450 MHz dengan *bandwidth* 5MHz.
3. *Non Carrier Aggregation* pada frekuensi 700 MHz dengan *bandwidth* 5MHz.
4. *Non Carrier Aggregation* pada frekuensi 2100 MHz dengan *bandwidth* 5MHz
5. *Non Carrier Aggregation* pada frekuensi 2600 MHz dengan *bandwidth* 5MHz.

Pada skenario yang akan diuji ini lokasi yang dipilih adalah lokasi daerah urban, sub urban dan dense urban di Bandar Lampung dengan empat kecamatan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Kebutuhan jumlah *site* untuk melingkupi empat Kecamatan di Kota Bandar Lampung pada perencanaan dengan tanpa teknik *carrier* sebesar 29 *site* dengan 4 *site* untuk 450 MHz, 4 *site* di 700 MHz, 10 *site* untuk 2100 MHz dan 11 *site* pada 2600 MHz. Teknik *carrier aggregation* membutuhkan 11 site pada perancangan.
2. Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software* ATOLL 3.2.3 didapatkan nilai untuk frekuensi 450 Mhz sinyal level  $\geq -80\text{dBm}$  sebesar 96,4%. Pada frekuensi 700 MHz dan 2100 MHz dinilai 71,26% dan 68,24%, sedangkan di frekuensi 2600 MHz sebesar 85,01%. Berbeda halnya dengan teknik *Carrier Aggregation interband non contiguous* sebesar 97,37%.
3. Berdasarkan simulasi *predictions coverage by C/(I+N) level* (DL) di dalam *software* Atoll 3.2.3, didapatkan nilai CINR level  $\geq 5 \text{ dBm}$  sebesar 63,37% pada frekuensi 450 MHz. Hasil bagus ditunjukan pada frekuensi 2600 MHz dengan nilai persentase 68,57%. Pada frekuensi 700 MHz dan 2100 MHz nilai CINR level berada pada 68,03% dan 66,73%. Dengan teknik

*carrier aggregation intra-band non-contiguous* menunjukan nilai yang cukup buruk yaitu 55,37%.

4. Nilai *throughput* yang dihasilkan memiliki nilai beragam antara CA dan non CA. Frekuensi 450 MHz bernilai 128,06 Mbps dengan *user connected* sebesar 92,7%, *user connected* terbesar ditunjukan oleh teknik CA sebesar 94,59%.

## 5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat membahas Analisis Performansi pada jaringan LTE dengan manajemen interferensi.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan perencanaan *backhaul* yang dapat menghubungkan antar eNodeB dengan menggunakan *microwave* dan *fiber optic*.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan penghitungan CAPEX dan OPEX secara akurat dan *drivetest* pada jaringan simulasi.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Wardhana, Lingga., Aginsa, B.F., Dewantoro, Anton., Harto, Isyabel., Mahardika, G., Hikmaturokhman, Alfin. (2014). *4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta:Nulis Buku.com
- [2] Hamdah, Radiah., Hafidudin., Melyani, Linda., (2015). “*Analisis Performansi Penerapan Carrier Aggregation dengan Perbandingan Skenario Secondar y Cell pada Perancangan Jaringan LTE-Advanced di DKI Jakarta.*”
- [3] Ayu Tika Permatasari., Hafidudin A.Md, S.T, M.T., Linda Meylani S.T, M.T., (2015).“Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced Menggunakan Metode Fractional Frequency Reuse dan Fitur Carrier Aggregation Di DKI Jakarta.’
- [4] Dharma Winata Saputra., (2015),” Analisis Perencanaan Lte-Advanced Dengan Metoda *Carrier Aggregation Inter-Band Non-Contiguous Dan Intra-Band Non-Contiguous Di Kota Semarang.*”
- [5] Erik Dalman, Johan Skold.2014.LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. ISBN 9780123854896.
- [6] Anonimous, “*Pengenalan Teknologi Long Term Evolution*”. [Http://Repository.Usu.Ac.Id/Bitstream/123456789/29936/4/Chapter%20II.Pdf](http://Repository.Usu.Ac.Id/Bitstream/123456789/29936/4/Chapter%20II.Pdf). Diakses Pada: 4 April 2017

- [7] Setiawan, D. D. (2013). *Ekosistem Dan Regulasi*. Jakarta: Ditjen SDPPI Kementerian Kominfo.
- [8] Al-Shibly, Mohammed., Habeibi, Mohamed Hadi., Chebil Jalel. (2012). “*Carrier Aggregation In Long Term Evolution-Advanced*”.
- [9] Lingga Wardhana, “4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia Jilid 1 dan Jilid 2”. 2014.
- [10] Abdul Basit, Syed, “Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface”Helsinki University of Technology, 2009.
- [11] Allen, Ben. 2013. LTE-Advanced and Next Generation Wireless Networks: Channel Modelling and Propagation. United Kingdom: Wiley&Sons. Ltd.
- [12] Muhammad Suryanegara, Achmad Ramadhan, Afid Kurnia Akbar, Muhamad Asvial. "The Forecasting Model of 4G LTE Implementation in Indonesia". Jakarta, Indonesia 2014
- [13] Huawei. (2013). *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*. Huawei Technologies Co.
- [14] Huawei. (2013). *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*. HuaweiTechnologies Co.
- [15] BPS Kota Bandar Lampung. (2016). *Bandar Lampung Dalam Angka*. Bandar Lampung: Badar Pusat Statistik Kota Bandar Lampung
- [16] Indonesia, Indosat. (2013). *Annual Report 2016*. Jakarta

[17] Edinburgh. (2010, Mei 28). *Value of C/(I+N) threshold for LTE*. Retrieved from Finetopix:[http://www.finetopix.com/showthread.php?9960-value-of-C-\(I-N\)-threshold-for-LTE](http://www.finetopix.com/showthread.php?9960-value-of-C-(I-N)-threshold-for-LTE)