

**Mekanisme *Carrier Aggregation* Pada Jaringan 4G *LTE-Advanced***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Prasetia Muhharam**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
LAMPUNG  
2016**

## Abstract

Cellular operators in Indonesia are starting to roll-out 4G LTE services. The obstacles arise when no single operator meets the minimum requirement to run the LTE-Advanced 4G service recommended by 3GPP release-10, which is the minimum bandwidth of 20 MHz. Carrier aggregation (CA) is considered as an alternative solution for the operators to be able providing the large bandwidth for LTE-Advanced 4G services. Carrier aggregation is a virtual carrier merging technique to obtain a larger bandwidth. This work focused on examining the performance of carrier aggregation technique and compare with non-carrier aggregation technique. The tests conducted by a simulation using a software simulator in 4 urban districts in Bandar Lampung. The scenario composed of the technique of carrier aggregation inter-band non-contiguous by using the primary frequency of 900 MHz and the secondary frequency of 1800 MHz, with the total bandwidth of 25 MHz. It is then compared to the technique of non-carrier aggregation with a single frequency band of 900 MHz with the total bandwidth of 5 MHz. Moreover, it is also compared to the non-carrier aggregation technique that has a total bandwidth of 20 MHz by 1800 MHz single band frequency. The results show 92,30% of users were served by carrier aggregation technique, compared to 82,5% and 18,50% for the non carrier aggregation with single frequency band of 1800 MHz and 900 MHz consecutively. In term of throughput, the results show that carrier aggregation technique have 557,224Mbps compare to the non-carrier aggregation of 494,098 Mbps and 102,534 Mbps. All the outperformed results are due to the small bandwidth availability on those single frequency bands. The further work might be considered on 3 or more component carriers to be aggregated in order the analyse the performance of this technique.

Keywords: Carrier Aggregation, *Interband non-cotiguous*, Simulation, *Connected user*, *Througput*.

## Abstrak

Operator seluler di Indonesia saat ini mulai menggelar layanan 4G LTE. Kendala muncul ketika belum ada satupun operator yang memenuhi persyaratan minimal untuk menjalankan layanan 4G LTE-Advanced yang ditetapkan oleh 3gpp release-10, yaitu *bandwidth* minimal sebesar 20 MHz. *Carrier aggregation* (CA) hadir sebagai solusi alternatif agar operator dapat tetap menjalankan layanan 4G LTE-Advanced. *Carrier aggregation* sendiri merupakan teknik penggabungan *carrier* secara virtual untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih besar. Pada *skripsi* ini akan menguji performa dari teknik *carrier aggregation* dan membandingkannya dengan teknik *non-carrier aggregation*. Pengujian dilakukan dengan simulasi menggunakan *Software* simulator di 4 Kecamatan yang tergolong daerah urban di Kota Bandar Lampung. Skenario pengujian adalah menggunakan teknik *carrier aggregation inter-band non-contiguous* yang menggunakan frekuensi *primary* 900 MHz dan frekuensi *secondary* 1800 MHz. Hasil uji *connected user* untuk *carrier aggregation* menunjukkan sebanyak 92,30% *user* terlayani. Sedangkan, untuk teknik *non-carrier aggregation* dengan frekuensi 900 Mhz sebanyak 18,20% terlayani dan untuk *non-carrier aggregation* dengan frekuensi 1800 MHz sebanyak 82,50% *user* terlayani oleh jaringan. Untuk hasil uji *throughput* teknik *carrier aggregation* memiliki *throughput* sebesar 557,244 Mbps, dan untuk teknik *non-carrier aggregation* frekuensi 900 Mhz dan frekuensi 1800 MHz hasilnya adalah 102,534 Mbps dan 494,096 Mbps. Hasil uji performa yang meliputi *connected user* dan *throughput* menunjukkan bahwa teknik *carrier aggregation* memiliki hasil yang lebih bagus dibandingkan dengan teknik *non-carrier aggregation*. Hal tersebut terjadi karena perbedaan jumlah *bandwidth* yang digunakan dari masing-masing skenario. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menganalisis performa dari agregasi tiga buah *component carriers*.

Kata kunci : *Carrier Aggregation, Interband non-cotiguous, Simulasi, Connected user, Througput.*

**MEKANISME *CARRIER AGGREGATION* PADA JARINGAN  
4G *LTE-ADVANCED***

**Oleh**

**PRASETIA MUHHARAM**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

Judul Skripsi

: **MEKANISME CARRIER AGGREGATION  
PADA JARINGAN 4G LTE-ADVANCED**

Nama Mahasiswa

: **Prasetia Muhharam**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115031066

Program Studi

: **Teknik Elektro**

Fakultas

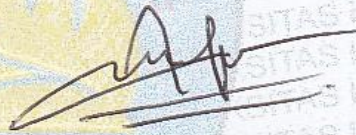
: **Teknik**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

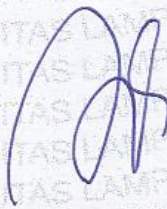


**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19731128 199903 1 005



**Misfa Susanto, Ph.D.**  
NIP 19710525 199903 1 001

**2. Ketua Jurusan Teknik Elektro**



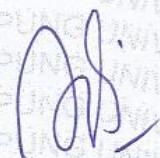
**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19731128 199903 1 005

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

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



**Sekretaris**

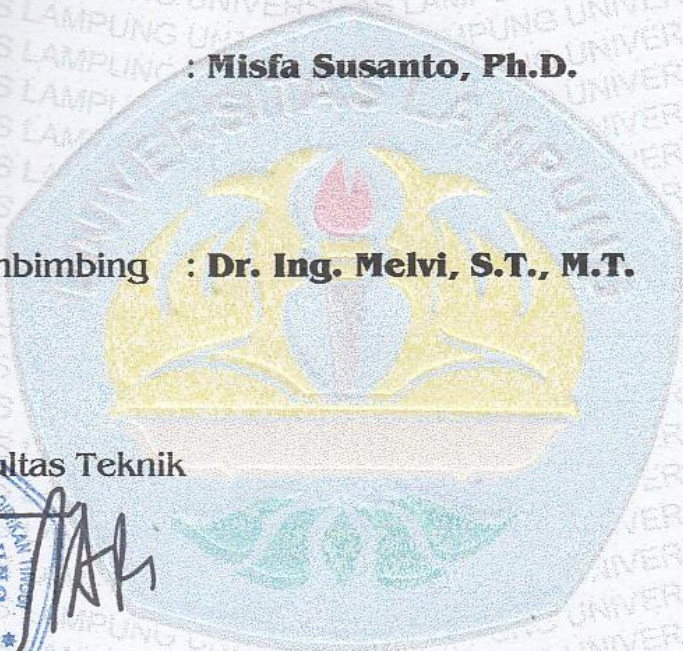
**: Misfa Susanto, Ph.D.**



**Penguji**

**Bukan Pembimbing**

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



**2. Dekan Fakultas Teknik**

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

**NIP 19620717 198703 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 September 2016**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan 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.

Bandar Lampung, Oktober 2016



Prasetia Muhharam  
NPM 1115031066

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis adalah anak Pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 21 Juni 1993 dari pasangan Bapak H. Haryono, S.Pd dan Ibu Dra. H. Lailawati

Penulis pertama kali mengenyam pendidikan tingkat sekolah dasar di SD Al-kaustar Bandar Lampung, lulus tahun 2005, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Bandar Lampung, lulus tahun 2008, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 9 Bandar Lampung, lulus tahun 2011. Penulis melanjutkan pendidikan keperguruan tinggi di Universitas Lampung pada tahun 2011.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Universitas Lampung pada Jurusan Teknik Elektro melalui jalur SNMPTN Undangan. Setelah menginjak semester kelima, penulis memfokuskan diri pada konsentrasi Sistem Isyarat Elektrik khususnya Telekomunikasi. Selama menjadi mahasiswa, penulis menjabat sebagai asisten pada Praktikum Dasar Sistem Kendali pada laboratorium Teknik Kendali.

Selama masa kuliah, penulis aktif di beberapa lembaga kemahasiswaan yang berada di lingkungan Universitas Lampung, yaitu HIMATRO Unila (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Unila), BEM FT Unila (Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Unila), dan BEM U Unila (Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Lampung).

Dalam masa kuliah, penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. Indosat.tbk wilayah kerja Lampung dan Bengkulu dalam jangka waktu satu bulan. Dalam melaksanakan Kerja Praktik, penulis ditempatkan pada bagian Teknik. Penulis menyelesaikan Kerja Praktik dengan menulis sebuah laporan yang berjudul: “Karakteristik 2G BTS (*Base Transceiver Station*) NSN Flexi Edge Yang Digunakan Oleh PT.Indosat.tbk Wilayah Kerja Lampung Dan Bengkulu”.



## PERSEMBAHAN



*Dengan Ridho Allah SWT, teriring shalawat kepada Nabi Muhammad*

*SAW Karya tulis ini kupersembahkan untuk:*

*Ayah dan Ibuku Tercinta  
H. Haryono, S.Pd & Dra. Hj. Lailawati*

*Adikku Tersayang  
Arienda Mustika Wati*

*Orang yang selalu memotivasiku  
Garin Fatayanti, S.Pi.*

*Teman-teman kebanggaanku  
Rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2011*



*MOTTO*

*“Fight, while they’re sleeping.  
Learn, while they’re partying.  
Live, like they’re dreaming.”*

*(Hosszu Katinka)*



## SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini. Shalawat serta salam disanjungkan kepada Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafaatnya di hari akhir kelak.

Skripsi yang berjudul “**MEKANISME CARRIER AGGREGATION PADA JARINGAN 4G LTE-ADVANCED**” digunakan sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam masa perkuliahan dan penelitian, penulis mendapat banyak hal baik berupa dukungan, semangat, motivasi dan banyak hal yang lainnya. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku kepala Jurusan Teknik Elektro fakultas Teknik Universitas Lampung, dan juga selaku pembimbing utama yang telah memberikan Ilmu, dukungan, motivasi, serta masukan selama pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Misfa Susanto, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan Ilmu, dukungan, motivasi, serta masukan selama pengerjaan skripsi ini.

5. Ibu Dr. Ing. Melvi, S.T.,M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, saran serta kritikan yang bersifat membangun dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T., selaku dosen pembimbing akademik, yang telah memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan studi.
7. Seluruh Dosen Teknik Elektro, Terimakasih atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama menuntut ilmu di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Keluarga Besar Teknik Elektro, Mbak Ning, Mbak Diah, Mas Daryono , dll, terimakasih atas kebersamaan dan waktu serta ilmu yang telah diberikan.
9. Ayah dan Ibu, H.Haryono, S.Pd dan Dra. Hj. Lailawati, tiada kata yang dapat tertulis atas segala pengorbanan yang kalian lakukan untuk hidupku, hanya terimakasih yang tak terkira atas segala yang telah dilakukan untukku.
10. Adiku Arienda Mustikawati terimakasih atas motivasi dan dukunganya agar segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Garin Fatayanti, S.Pi., terimakasih atas do'a, motivasi, bantuan, serta hal-hal yang telah membuat penulis semangat untuk mengerjakan skripsi ini.
12. Dharma Winata Saputra, S.T., yang telah memberikan ilmu dan meluangkan waktu untuk membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
13. Seluruh pengikut habibizm, Aditya Hartanto, Agi Rezka P, Apriwan Rizki, Denny Firmansyah, Dirya Andriyan, Gusmau Rado Pratama, S.T., M. Fikri

Ibrahim, S.T., Habib Sutriharjo, dan Reinaldy A.K atas persahabatan dan kenangan yang diberikan selama ini.

14. Teman hidup susah Oka kurniawan Saputra, S.T., dan Ryan Noferiawan atas persahabatan dan kenangan sewaktu bersama di lantai dua laboratorium.

15. Para pejuang skripsi Nurhayati S.T., Alin Adilah, Annida Puspa, dan Sigit Santoso, yang telah menemani penulis berjuang selama ini.

16. Teman-teman keluarga besar ElevEngineer 2011 terimakasih atas segala yang telah diberikan.

Semoga apa yang telah diberikan selama ini mendapat balasan yang lebih baik dari dari Allah SWT.

Bandar lampung, Oktober 2016

Penulis,

**Prasetia Muhharam**

## DAFTAR ISI

### Halaman

Daftar Isi.....	i
Daftar Gambar.....	iv
Daftar Tabel .....	v

### I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Rumusan Permasalahan.....	4
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4

### II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka .....	6
2.2 <i>Long Term Evolution (LTE)</i> .....	9
2.3 Arsitektur Sistem Jaringan LTE.....	9
2.4 Persyaratan Penyelenggaraan Jaringan LTE.....	10
2.5 <i>LTE- Advanced</i> .....	11
2.6 Kondisi Spektrum di Indonesia .....	12
2.7 Teknologi yang Mendukung 4G <i>LTE-Advanced</i> .....	13
2.7.1 MIMO .....	13
2.7.2 <i>Carrier Aggregation (CA)</i> .....	14
2.8 <i>Planning</i> Jaringan .....	15
2.8.1 <i>Planning by Capacity</i> .....	15
2.8.1.1 <i>forecasting</i> jumlah pelanggan .....	16
2.8.1.2 Menghitung <i>Network Throughput</i> .....	16
2.8.1.3 <i>Throughput per cell</i> .....	20
2.8.1.4 Perhitungan Jumlah <i>site</i> .....	22
2.8.2 <i>Planning by coverage</i> .....	22
2.8.2.1 <i>Link budget calculation</i> .....	22
2.8.2.2 Luas <i>Site</i> .....	25
2.8.2.3 Jumlah <i>Site</i> .....	26
2.9 Framework Penelitian .....	26

### III. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian .....	28
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.3 Tahapan Penelitian .....	29

3.3.1 Studi Pustaka.....	29
3.3.2 Penentuan Lokasi Simulasi .....	29
3.3.3 Perencanaan Sistem Jaringan.....	29
3.3.4 Simulasi Pada <i>Atoll</i> .....	30
3.3.5 Melakukan Analisa dan Pembahasan .....	30
3.3.6 Analisa Hasil dan Menarik Kesimpulan .....	30
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	31
3.5 Diagram Sistem .....	32
3.5.1 Model Sistem .....	32
3.5.2 Skenario .....	33
3.5.2.1 Perencanaan Jaringan dengan CA .....	35
3.5.2.2 Perencanaan Jaringan non-CA .....	35

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Lokasi Simulasi.....	36
4.2 <i>Planning</i> Jaringan .....	37
4.2.1 <i>Planning by Capacity</i> .....	37
4.2.1.1 Forecasting Jumlah Pelanggan .....	37
4.2.1.2 Menghitung <i>Network Throughput</i> .....	38
4.2.1.3 <i>Throughput per cell</i> .....	42
4.2.1.4 Perhitungan jumlah <i>site</i> .....	43
4.2.2 <i>Planning by Coverage</i> .....	45
4.2.2.1 <i>Link budget calculation</i> .....	45
4.2.2.2 Luas <i>Site</i> .....	50
4.2.2.3 Jumlah <i>Site</i> .....	51
4.3 Simulasi <i>Software Atoll</i> .....	52
4.3.1 <i>Plotting</i> pada <i>software Atoll</i> .....	52
4.3.2 <i>Simulasi Coverage by signal level</i> .....	54
4.3.2.1 Simulasi <i>Coverage by signal level CA</i> .....	54
4.3.2.2 Simulasi <i>Coverage by signal level non-CA 900 MHz</i> .....	56
4.3.2.3 Simulasi <i>Coverage by signal level non-CA 1800 MHz</i> .....	57
4.3.2.4 Perbandingan berdasarkan <i>Signal Level</i> .....	59
4.3.3 <i>User Connected dan Troughput</i> .....	60
4.3.3.1 Simulasi <i>User Connected dan Troughput CA</i> .....	60
4.3.3.2 Simulasi <i>User Connected dan Troughput non-CA 1800 Mhz</i> .....	61
4.3.3.3 Simulasi <i>User Connected dan Troughput non-CA 900 Mhz</i> .....	63
4.3.3.4 Perbandingan Hasil Simulasi .....	64

**V. KESIMPULAN**

5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran .....	67

**DAFTAR PUSTAKA  
LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Arsitektur Jaringan LTE .....	10
<b>Gambar 2.2</b> Alokasi frekuensi pita GSM di Indonesia.....	13
<b>Gambar 2.3</b> Jenis <i>Carrier Aggregation</i> .....	14
<b>Gambar 2.4</b> <i>Framework</i> penelitian .....	27
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>Gambar 3.2</b> Model Sistem <i>Carrier Aggregation</i> .....	32
<b>Gambar 4.1</b> Posisi <i>site</i> pada <i>Map Software Atoll</i> .....	53
<b>Gambar 4.2</b> <i>Coverage by Signal Level CA</i> .....	55
<b>Gambar 4.3</b> Histogram <i>Signal Level CA</i> .....	55
<b>Gambar 4.4</b> <i>Coverage by Signal Level Non CA</i> .....	56
<b>Gambar 4.5</b> Histogram <i>Coverage by Signal Level Non CA 900 MHz</i> .....	57
<b>Gambar 4.6</b> Simulasi <i>Coverage by Signal Level Non CA 1800 MHz</i> .....	58
<b>Gambar 4.7</b> Histogram <i>Coverage by Signal Level Non CA 1800 MHz</i> .....	58
<b>Gambar 4.8</b> Simulasi <i>Monte Carlo</i> untuk CA .....	60
<b>Gambar 4.9</b> Simulasi <i>Monte Carlo Non CA 1800 MHz</i> .....	62
<b>Gambar 4.10</b> Simulasi <i>Monte Carlo Non CA 900 MHz</i> .....	63

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> <i>Services model</i> .....	17
<b>Tabel 2.2</b> <i>Traffic Model</i> Berdasarkan Tipe Daerah .....	18
<b>Tabel 2.3</b> <i>Peak to average Ratio</i> Berdasarkan Tipe Daerah .....	19
<b>Tabel 2.4</b> <i>Radio Overhead</i> .....	21
<b>Tabel 2.5</b> <i>Parameter path loss</i> .....	25
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Peralatan.....	34
<b>Tabel 4.1</b> Luas Daerah .....	36
<b>Tabel 4.2</b> Jumlah Penduduk .....	37
<b>Tabel 4.3</b> <i>Troughput/sessions</i> untuk Setiap Parameter Trafik .....	39
<b>Tabel 4.4</b> Perhitungan <i>single user throughput per service</i> .....	40
<b>Tabel 4.5</b> <i>Average SINR Distribution Carrier Aggregation</i> <i>Inter-Band Non Contiguous</i> .....	42
<b>Tabel 4.6</b> Jumlah Site Berdasarkan <i>Planning by Capacity</i> .....	45
<b>Tabel 4.7</b> <i>Link Budget Uplink</i> 900 MHz .....	46
<b>Tabel 4.8</b> <i>Link Budget Uplink</i> 1800 MHz .....	47
<b>Tabel 4.9</b> <i>Link Budget Downlink</i> 900 MHz .....	49
<b>Tabel 4.10</b> <i>Link Budget Downlink</i> 1800 MHz.....	50
<b>Tabel 4.11</b> Jari jari site .....	51
<b>Tabel 4.12</b> Lokasi Site pada <i>Software Atoll</i> .....	53
<b>Tabel 4.13</b> <i>Signal Level Quality</i> .....	54
<b>Tabel 4.14</b> Perbandingan <i>Signal Level CA</i> dan Non CA .....	59
<b>Tabel 4.15</b> Simulasi <i>Monte Carlo CA</i> .....	61
<b>Tabel 4.16</b> Hasil Simulasi <i>Monte Carlo</i> .....	62
<b>Tabel 4.17</b> Hasil Simulasi <i>Monte Carlo Non CA</i> 900 MHz .....	64
<b>Tabel 4.18</b> Perbandingan Hasil Simulasi <i>Monte Carlo</i> .....	64

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi komunikasi seluler mengalami perkembangan yang sangat cepat, mulai dari teknologi 1G yang mulai dipergunakan pada tahun 1985, sampai dengan sekarang teknologi komunikasi seluler sudah menginjak pada generasi keempat (4G). Penggunaan teknologi seluler pada era modern oleh masyarakat cenderung berbeda dari era sebelumnya. Pada teknologi 1G sampai dengan teknologi 2G masyarakat hanya dapat menggunakan teknologi seluler untuk komunikasi suara saja. Berkembangnya teknologi mengakibatkan komunikasi dalam bentuk data sudah menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat untuk layanan komunikasi seluler.

Layanan komunikasi seluler berbasis 3G mulai digelar pada tahun 2006 untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia. Teknologi ini dirasakan masih belum bisa memenuhi kebutuhan masyarakat dalam hal komunikasi data, di mana seiring dengan perkembangan teknologi *smartphone* yang semakin canggih, membutuhkan komunikasi data yang semakin cepat dengan kapasitas yang besar.

Teknologi Komunikasi 4G LTE hadir sebagai solusi atas kebutuhan akan komunikasi data yang semakin meningkat. Teknologi 4G LTE memiliki standar-

standar yang ditetapkan oleh 3gpp pada *release* 8. Standar tersebut meliputi: kecepatan maksimal data *downlink* yang mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gbps saat diam. Pada *release* 8 ini juga waktu tunda sistem berkurang hingga mencapai 10 ms. Efisiensi spektrum pada LTE juga meningkat dua kali lipat dari teknologi 3,5G. Teknologi LTE pada *release* 8 ini menggunakan sistem *packet switch (all-ip)*. Teknologi jaringan 4G LTE *release* 8 ini bekerja pada rentang *bandwidth* yang fleksibel dan yang terakhir teknologi 4G LTE pada *release* 8 ini dapat bekerja sama (*inter-working*) dengan sistem 3gpp maupun sistem non-3gpp yang sudah ada [1]. 3gpp terus mengembangkan studi tentang 4G LTE untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh IMT-Advanced, hingga akhirnya 3gpp mengeluarkan LTE *release* 10 yang disebut juga LTE-Advanced (LTE-A).

Salah satu fitur utama pada 3gpp *release* 10 LTE-Advanced adalah *carrier aggregation*. *Carrier aggregation* memungkinkan operator membuat *bandwidth carrier* “virtual” yang lebih besar untuk layanan LTE, dengan mengkombinasikan alokasi spektrum yang terpisah. *Carrier aggregation* pada *release* 10 memungkinkan kombinasi hingga lima komponen *carrier*, sehingga agregasi *bandwidth* maksimal yang dapat dicapai adalah sebesar 20-100 MHz [2].

Operator seluler mulai menggelar layanan 4G LTE di Indonesia. Layanan tersebut belum dapat mencapai kemampuan maksimalnya dikarenakan hanya dijalankan di atas *bandwidth* sebesar 5 MHz, sedangkan menurut standar yang ditetapkan oleh 3gpp pada *release* 10 *bandwidth* minimal untuk menjalankan layanan 4G LTE-

*Advanced* adalah sebesar 20 MHz. Saat ini di Indonesia tidak ada operator seluler yang memiliki spektrum frekuensi sebesar 20 MHz secara utuh, karena alokasi spektrum frekuensi yang terpisah pada tiap *band*.

Salah satu alternatif agar layanan 4G LTE-*Advanced* dapat digelar di Indonesia dengan memanfaatkan metode *carrier aggregation*. Berdasarkan hal tersebut, penulis akan melakukan penelitian dengan judul “Mekanisme *carrier aggregation* pada Jaringan 4G LTE- *Advanced*”.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana proses *carrier aggregation* bisa dilakukan pada 4G LTE.
2. Menganalisis unjuk kerja sistem saat menggunakan metode *carrier aggregation* dan saat tidak menggunakan metode *carrier aggregation*.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui bagaimana penerapan metode *carrier aggregation* pada layanan 4G LTE.
2. Mengetahui pengaruh penerapan metode *carrier aggregation* pada performa layanan 4G LTE.
3. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

#### **1.4 Rumusan Permasalahan**

Layanan 4G LTE merupakan layanan berbasis *paket switch* yang dapat *delivery* semua jenis data baik berupa gambar, video, teks, maupun suara. Penerapan layanan 4G LTE memiliki beberapa persyaratan, yaitu: besar *bandwidth* minimum sebesar 20 MHz. Saat ini operator seluler di Indonesia memiliki spektrum frekuensi yang terpisah. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diterapkan metode *carrier aggregation* yang dapat mengkombinasikan beberapa komponen *carrier* menjadi satu dan membuat standar *bandwidth* sebesar 20 MHz dapat tercapai.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Pembahasan skripsi ini dibatasi pada hal-hal berikut ini:

1. Hanya membahas tentang metode *carrier aggregation* pada layanan 4G LTE.
2. Proses agregasi hanya dibatasi pada dua komponen *carrier* dengan skenario *inter-band non-contiguous*.
3. Parameter komparasi yang digunakan adalah *coverage by signal level*, *conected user* dan *throughput*.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari beberapa bab, meliputi:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika penulisan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menerangkan kajian pustaka yang berkaitan dengan skripsi yang akan dibuat. Pada bab ini juga dijelaskan kajian teknis yang berhubungan dengan skripsi yang akan dibuat.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

Memuat langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian, di antaranya waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, komponen dan perangkat penelitian, prosedur kerja, perancangan, dan pengujian sistem.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bagian ini berisi mengenai hasil pengujian dan membahas data-data hasil pengujian yang diperoleh.

## **BAB V PENUTUP**

Bab ini akan menyimpulkan semua kegiatan, hasil-hasil yang diperoleh selama proses pembuatan dan pengujian sistem serta saran-saran yang sekiranya diperlukan untuk menyempurnakan penelitian berikutnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kajian Pustaka

Mekanisme *carrier aggregation* telah diteliti dan dikembangkan dalam beberapa penelitian untuk meningkatkan efisiensi penggunaan. Penulis [3] menjelaskan tentang skenario spektrum *carrier aggregation* yaitu terdapat *intra-band contiguous*, *intra-band non-contiguous*, dan *inter-band non-contiguous*. Pada *paper*-nya penulis juga membahas tentang *protocol* untuk *carrier aggregation*, serta *physical layer* pada *carrier aggregation*.

Dalam penelitiannya penulis [4] membahas tentang performa *uplink* dari *carrier aggregation* pada LTE-Advanced dengan skema alokasi *component carrier* (CC) yang berbeda. Penulis menyajikan *radio resource management* (RRM) *framework* dari *multi-component carrier* jaringan LTE-Advanced dengan memperhatikan pada pemilihan CC, *bandwidth* transmisi adaptif dan kontrol daya *uplink*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan *Carrier agregation* dan algoritma pemilihan CC, *throughput* pengguna *cell edge* dari LTE-Advanced UEs adalah sama dengan *release 8* UEs.

Pada penelitiannya penulis [5] menjelaskan tentang kegunaan *carier aggregation* untuk mendukung kebutuhan *bandwidth* yang besar pada LTE-Advanced dengan



menggabungkan beberapa *carrier* untuk menyediakan *bandwidth* yang lebih besar sehingga dapat mencapai 100 MHz. Beberapa masalah teknis termasuk skenario agregasi, implementasi, desain *control signalling* dan analisa lainnya juga dijelaskan oleh penulis. Penulis berpendapat bahwa *carrier aggregation* sangat mungkin diterapkan dan dapat digunakan secara signifikan untuk meningkatkan puncak *data rates* pada LTE-Advanced.

Hasil dari penelitiannya penulis [6] menerangkan bahwa jaringan LTE-Advanced mendukung *multi-carrier* dengan *non-contiguous*, *asymmetric* dan operasi *cross band-class* untuk memastikan fleksibilitas penuh dari penyebaran spektrum. Komponen *carrier* yang digunakan pada agregasi spektrum tidak perlu berdekatan dan simetris. Komponen *carrier* tersebut bisa terletak pada frekuensi yang berbeda. *eNodeB* atau UE di jaringan LTE-Advanced yang menerapkan agregasi spektrum secara simultan mengirim dan menerima data menggunakan *non-adjacent carriers*. Penulis juga menjelaskan bahwa ada dua metode struktur *scheduler* untuk agregasi spektrum yaitu *disjoint queue scheduler* dan *joint queue scheduler*. Pada *paper*-nya penulis memaparkan ide baru untuk metode struktur *scheduler* yaitu *joint queue scheduler* dengan analisis prioritas yang dinilai lebih efektif.

Menurut penelitiannya penulis [7] merancang LTE-Advanced menggunakan metode *carrier aggregation inter-band non-contiguous* dan *intra-band non-contiguous* dengan memanfaatkan frekuensi GSM pada salah satu operator seluler yaitu Indosat. 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 1800 MHz. Perancangan LTE-Advanced ini menggunakan *capacity planning* dan *coverage planning* di Kota Bandar Lampung. Berdasarkan hasil analisis penulis didapatkan hasil bahwa jaringan dengan teknik *carrier aggregation inter-band non-contiguous* lebih baik untuk diterapkan di Kota Bandar Lampung

Dalam penelitiannya penulis [8] mengambil judul Analisis Performansi Penerapan *Carrier Aggregation* dengan Perbandingan skenario *secondary Cell* pada perancangan Jaringan LTE-Advanced di DKI Jakarta. Pada paper ini penulis membahas tentang perancangan jaringan LTE dengan menggunakan *bandwidth 5 MHz* pada *band 900* dan jaringan LTE-Advanced dengan melakukan penambahan *bandwidth 5 MHz* pada *band 1800 MHz* melalui fitur *inter-band carrier aggregation*. Perancangan yang dilakukan dengan dua pendekatan yaitu *planning by coverage* dan *planning by capacity*. Untuk mendapatkan skenario optimal dalam menerapkan *carrier aggregation* maka dilakukan perbandingan skenario *secondary cell*. Perbandingan tersebut didasarkan pada perbandingan antara *Carrier Aggregation Deployment Scenario 2 (CADS2)* dan *Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 (CADS3)*.

Kajian literatur yang disebutkan di atas, menunjukkan bahwa teknik *carrier aggregation* memiliki beberapa skenario agregasi spektrum. Literatur di atas juga menjelaskan mengenai protokol *carrier aggregation*, metode *scheduler* pada *carrier aggregation*, dan *physical layer* pada *carrier aggregation*. Literatur lainnya juga menunjukkan uji performa dari *uplink* pada *carrier aggregation*. Salah satu penulis pada literatur di atas juga berpendapat bahwa teknik *carrier aggregation* sangat memungkinkan untuk meningkatkan puncak *data rates* pada jaringan LTE-

*Advanced*. Selain itu, terdapat pula literatur yang menjadikan teknik *carrier aggregation* untuk perancangan jaringan LTE-Advanced di sebuah kota di Indonesia. Berdasarkan kajian literatur di atas maka pada skripsi ini penulis akan mengangkat judul mekanisme *Carrier aggregation* pada jaringan 4G LTE-Advanced.

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

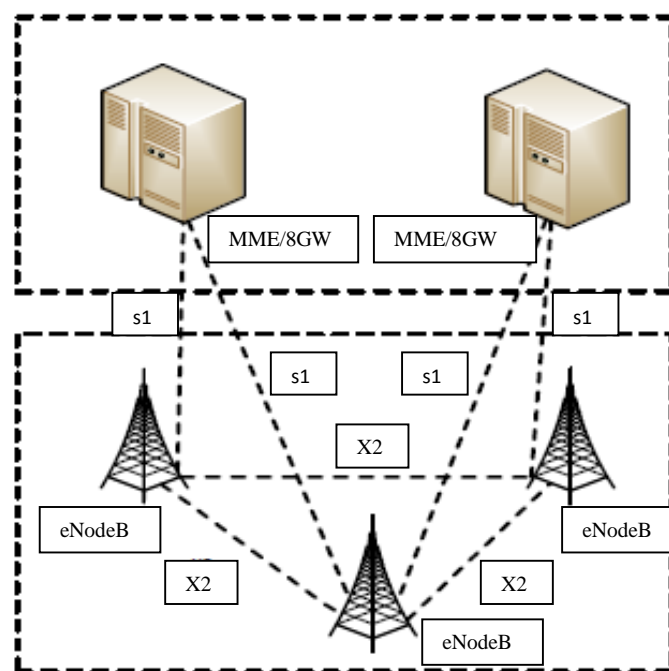
LTE merupakan sebutan yang diberikan untuk sebuah proyek dari 3gpp yang bertujuan untuk memperbaiki teknologi komunikasi seluler generasi sebelumnya (3G) yaitu UMTS (3G) dan HSPA (3.5G). Teknologi LTE atau 4G merupakan teknologi komunikasi seluler yang berbasis pada paket *switch*. Pada teknologi LTE terjadi peningkatan kecepatan transfer data, di mana pada UMTS kecepatan transfer data maksimum 2 Mbps, pada HSPA kecepatan transfer data mencapai 14 Mbps untuk *downlink* dan 5,6 Mbps di sisi *uplink*, sedangkan untuk LTE kecepatan transfer data mencapai 50 Mbps untuk sisi *uplink* dan dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink*. Kelebihan lain dari teknologi LTE adalah dapat memberikan jangkauan dan kapasitas layanan yang lebih besar, mengurangi biaya dalam operasional, mendukung penggunaan *multiple-antena*, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth* operasinya dan juga dapat terhubung dan terintegrasi dengan teknologi yang sudah ada [9].

## **2.3 Arsitektur Sistem Jaringan Long Term Evolution (LTE)**

Arsitektur jaringan LTE dirancang dengan tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, *quality of service* (QoS), dan *latency* yang kecil. Pendekatan *packet switching* memperbolehkan semua layanan termasuk layanan

*voice* menggunakan koneksi paket. Oleh karena itu pada arsitektur jaringan LTE dirancang sesederhana mungkin, yaitu hanya terdiri dari dua *node* yaitu *eNodeB* dan *mobility management entity/gateway* (MME/GW). Berbeda dengan arsitektur teknologi GSM dan UMTS yang memiliki struktur lebih kompleks dengan adanya *radio network controller* (RNC). Keuntungan yang dapat diperoleh dengan adanya *single node* pada jaringan akses adalah pengurangan *latency* dan distribusi beban proses RNC untuk beberapa *eNodeB*. Pengeliminasian RNC pada jaringan akses memungkinkan karena LTE tidak mendukung *soft handover* [10].

Arsitektur dasar jaringan LTE dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Arsitektur Jaringan LTE [8]

#### 2.4 Persyaratan Penyelenggaraan Jaringan LTE

Teknologi 4G memiliki standar-standar yang ditetapkan oleh 3gpp pada *release 8*.

Standar tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Peak data rates downlink* mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gbps saat bergerak pelan atau diam. Sementara itu untuk *Uplink peak data rates* adalah 50 Mbps.
2. Waktu tunda sistem berkurang hingga 10 ms
3. Efisiensi spektrum meningkat dua hingga empat kali lipat dari teknologi 3,5 G *High Speed Packet Access (HSPA) Release-6*.
4. Migrasi sistem yang 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. 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 [1].

## **2.5 LTE-Advanced**

3gpp sebagai organisasi pengembang teknologi jaringan 4G LTE terus melakukan pengembangan. Pada akhirnya 3gpp mengeluarkan *release 10* yang memenuhi persyaratan *international mobile telecommunication advance (IMT advance)*. LTE *release 10* disebut juga LTE-Advanced, LTE *release 10* inilah teknologi “4G yang sebenarnya”.

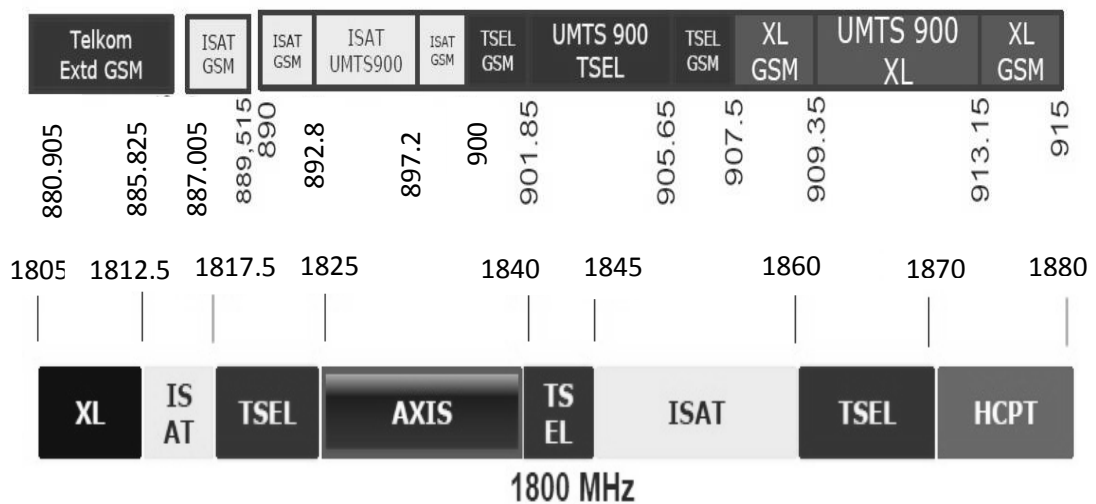
LTE-Advanced terus mengupayakan kapasitas jaringan yang semakin besar sebagai berikut:

1. *Peak data rates* ditingkatkan menjadi: 3 Gbps (*downlink*) dan 1,5 Gbps (*uplink*)
2. Efisiensi spektrum yang lebih tinggi, dari yang semula hanya 16bps/Hz di *release 8* menjadi 30 bps/Hz di *release 10*.
3. Penambahan jumlah pelanggan yang aktif secara bersamaan.
4. Meningkatnya unjuk kerja sistem pada tepi sel yakni untuk *downlink 2x2 MIMO* setidaknya menjadi 2,40 bps/Hz/sel

Dua mekanisme yang ditempuh untuk mencapai prasyarat di atas adalah dengan menggabungkan *bandwidth (carrier aggregation)* dan meningkatkan jumlah multi antenna *multiple input multiple output (MIMO)* [1].

## **2.6 Kondisi Spektrum di Indonesia**

4G LTE merupakan teknologi komunikasi seluler terbaru yang menjanjikan komunikasi data bergerak super cepat. Penerapan teknologi ini terdapat beberapa persyaratan khusus yang ditetapkan oleh *IMT-Advanced* di antaranya lebar *bandwidth* untuk LTE adalah sebesar 20 MHz. Sementara itu untuk saat ini belum ada operator di Indonesia yang mempunyai *bandwidth* total secara utuh sebesar 20 MHz. Gambar 2.2 menunjukkan alokasi frekuensi di Indonesia:



**Gambar 2.2** Alokasi frekuensi pita GSM di Indonesia [11].

## 2.7 Teknologi yang Mendukung 4G LTE-Advanced

### 2.7.1 MIMO

Mengatasi peningkatan permintaan akan layanan *mobile broadband* serta mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar, 3gpp telah memperkenalkan dua teknik yaitu, MIMO dan *Carrier Aggregation* (CA).

MIMO adalah sistem dengan banyak antena pada pemancar dan penerima. Sistem komunikasi tanpa kabel terdiri dari pemancar, kanal radio, dan penerima. Sistem komunikasi ini dapat dikategorikan berdasar jumlah *input* dan *outputnya*. MIMO dikondisikan dengan penggunaan *multi* antena pada pemancar dan penerima yang bekerja pada frekuensi yang sama. *Multiple input* berarti sistem mengirimkan dua atau lebih sinyal radio yang simultan. *Multiple out* berarti dua atau lebih sinyal radio didapatkan pada penerima. Secara umum, keunggulan dari sistem MIMO adalah dengan *multi* antena dapat mengirimkan banyak sinyal dan menerima banyak sinyal [12].

### 2.7.2 Carrier Aggregation (CA)

*Carrier aggregation (CA)* adalah salah satu fitur utama pada 4G LTE-Advanced. *Carrier aggregation* merupakan suatu metode penggabungan dua atau lebih frekuensi *carrier* baik pada *band* frekuensi yang sama maupun *band* frekuensi yang berbeda guna memperbesar penggunaan *bandwidth* sehingga dapat memenuhi *peak data rates* yang ditetapkan oleh IMT Advanced [2].

Fitur *carrier aggregation* terdiri dari tiga jenis yaitu:

1. *Carrier aggregation intra-band contiguous*

Merupakan penggabungan dua buah *carrier* atau lebih dengan posisi bersebelahan yang berada dalam satu *band* frekuensi yang sama.

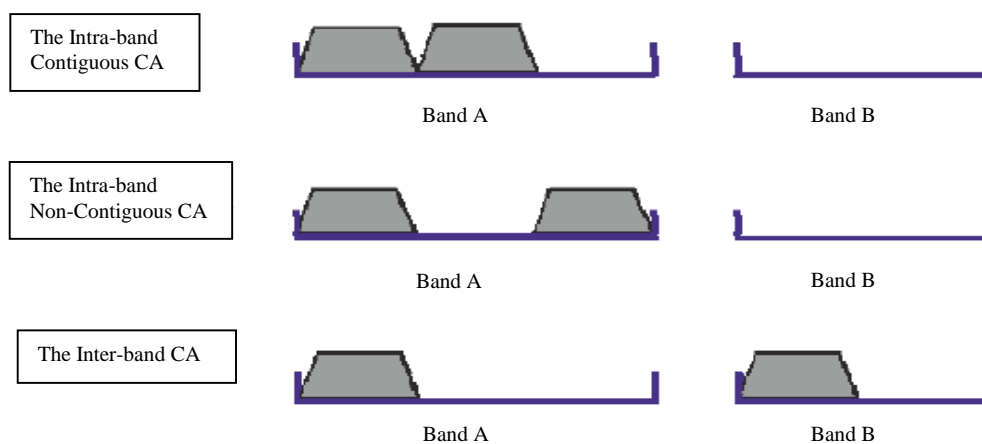
2. *Carrier aggregation intra-band non-contiguous*

Merupakan penggabungan dua buah *carrier* atau lebih yang posisinya diselingi oleh *carrier* lain, namun masih berada dalam satu *band* frekuensi yang sama.

3. *Carrier Aggregation inter-band non-contiguous*

Merupakan penggabungan dua buah *carrier* atau lebih yang berada pada *band* frekuensi yang berbeda.

Gambar 2.3 merupakan 3 jenis skenario *carrier aggregation*:



**Gambar 2.3** Jenis *Carrier Aggregation* [3]



## **2.8 Planning jaringan**

*Planning* merupakan penentuan jumlah *site* yang akan dibangun pada suatu wilayah tertentu untuk menyediakan layanan seluler. *Planning* terbagi menjadi dua yaitu *Planning by capacity* dan *planning by coverage*.

*Planning by coverage* merupakan suatu teknik perencanaan jaringan untuk mengetahui jumlah *site* yang diperlukan untuk menjangkau suatu daerah dengan memperhatikan spesifikasi alat yang digunakan serta memperhatikan kemampuan teknis jaringan yang digunakan seperti daya pancar, *path loss* dan lain-lain. Langkah-langkah dalam teknik *planning by coverage* antara lain: menghitung *link budget*, pemilihan model propagasi, menghitung luas sel, menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan.

Dalam skripsi ini akan dilakukan perhitungan jumlah *site* berdasarkan kedua metode *planning* tersebut. Selanjutnya, berdasarkan hukum *planning* maka jumlah *site* yang paling banyaklah yang kemudian dijadikan acuan untuk melakukan simulasi.

### **2.8.1 Planning by capacity**

*Planning by capacity* adalah suatu teknik perencanaan jaringan untuk mengetahui jumlah *site* dengan memperhatikan dan mengakomodir seluruh kebutuhan trafik pelanggan di suatu daerah. Langkah-langkah *planning by capacity* yaitu: *forecasting* jumlah pelanggan, menghitung *network throughput*, menghitung *throughput per cell*, dan menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan.

### 2.8.1.1 Forecasting Jumlah Pelanggan

*Forecasting* jumlah pelanggan merupakan langkah paling awal dalam tahapan *planning by capacity*. *Forecasting* jumlah pelanggan bertujuan untuk mengetahui jumlah pelanggan yang akan menggunakan layanan dari jaringan yang akan dibangun. Jumlah pelanggan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1) [13]:

$$JP = (Jprod \times MS) \times pred\_4G \quad (2.1)$$

dengan,

JP : Jumlah Pelanggan

Jprod : Jumlah penduduk usia produktif

MS : *Market share* operator

Pred\_4G : Prediksi pengguna layanan 4G.

### 2.8.1.2 Menghitung *Network Throughput*

Menghitung *network throughput* perlu dilakukan untuk mengetahui jumlah *throughput* yang dibutuhkan oleh pelanggan di suatu daerah tertentu. Langkah-langkah yang diperlukan untuk menghitung *network throughput* yaitu: menghitung *throughput per session*, menghitung *single user throughput*, dan menghitung *uplink* dan *downlink throughput*. Pada perhitungan *network throughput* dalam skripsi ini memakai parameter *services model* serta *traffic model* milik vendor Huawei.

Perhitungan *Throughput per session* didasarkan pada parameter *service model* milik vendor huawei seperti ditunjukkan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 *Services model* [13]

Traffic Parameters	UPLINK				DOWNLINK			
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER
VoIP	26.90	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%
P2P File Sharing	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%

Berdasarkan parameter-parameter *service* pada tabel 2.1 *throughput per session* nya dapat dihitung dengan persamaan (2.2) di bawah ini [13]:

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} = \text{Bearer Rate} \times \text{PPP Session Time} \times \text{PPP Session Duty Ratio} \times \left[ \frac{1}{1-\text{BLER}} \right] \quad (2.2)$$

dengan,

*Throughput/ session* : kebutuhan *throughput* minimal yang harus disediakan jaringan agar kualitas layanan terjaga (Kbit)

*Bearer Rate* : *data rate* yang harus disediakan oleh *service application layer* (IP) (Kbps)

*PPP Session Time* : rata-rata durasi setiap layanan

*PPP session duty ratio*: rasio data yang dikirimkan pada tiap sesi

*BLER* : *block error rate* yang diizinkan dalam satu sesi.

Tabel 2.2 menunjukkan *Traffic Model* berdasarkan tipe daerah. Nilai *traffic penetration ratio* dan *busy hour service attempt* pada tabel ini digunakan untuk perhitungan *single user throughput*.

**Tabel 2.2** *Traffic Model* Berdasarkan Tipe Daerah [13]

<i>User Behaviour</i>	Dense Urban		Urban	
	<i>Traffic Penetration Ratio</i>	BHSA	Penetration Ratio	BHSA
VoIP	100%	1.4	100%	1.3
Video Phone	20%	0.2	20%	0.16
Video Conference	20%	0.2	15%	0.15
Real Time Gaming	30%	0.2	20%	0.2
Streaming Media	15%	0.2	15%	0.15
IMS Signalling	40%	5	30%	4
Web Browsing	100%	0.6	100%	0.4
File Transfer	20%	0.3	20%	0.2
Email	10%	0.4	10%	0.3
P2P File Sharing	20%	0.2	20%	0.3

Selain Tabel parameter *traffic model*, dibutuhkan parameter lain untuk menghitung *single user throughput* yaitu *peak to average ratio*. *Peak to average ratio* adalah asumsi kelebihan beban *traffic* pada suatu jaringan. Nilai-nilai *peak to average ratio* berbeda-beda tergantung tipe daerahnya. Tabel 2.3 menunjukkan *peak to average ratio* tiap-tiap daerah.

**Tabel 2.3** *Peak to average Ratio* Berdasarkan Tipe Daerah [13]

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

Persamaan (2.3) di bawah ini digunakan untuk menghitung *single user throughput* [13] :

$$Sut (IP) = \frac{\sum \left[ \left( \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \right) \times BHSA \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{Peak Average Ratio}) \right]}{3600} \quad (2.3)$$

dengan,

$Sut (IP)$  : *Single user throughput (IP)*

$BHSA$  : *Service attempt in busy hour*

*Penetration rate* : Penetrasi penggunaan layanan berdasarkan tipe daerah

*Peak to average ratio* : Estimasi kelebihan beban pada *traffic*.

Setelah mengetahui nilai dari *single user throughput*, selanjutnya dapat dihitung nilai total *throughput* pada sisi *uplink* maupun *downlink* dengan menggunakan persamaan (2.4) dan persamaan (2.5) [13]:

$$UL Net (IP) = JP \times UL Single user throughput \quad (2.4)$$

$$DL Net (IP) = JP \times DL Single user throughput \quad (2.5)$$

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.

### 2.8.1.3 *Throughput per cell*

Perhitungan nilai *throughput per cell* dilakukan untuk mengetahui kapasitas *uplink* dan *downlink* pada satu sel pada teknik *carrier aggregation*. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menghitung *throughput per cell* adalah: menghitung *uplink* serta *downlink MAC layer throughput*, setelah itu menghitung *cell average throughput* dari teknik *carrier aggregation* yang didasarkan pada *average SINR distribution*. Setelah itu didapatkanlah nilai *throughput per cell*.

Perhitungan *uplink* dan *downlink MAC layer throughput* dilakukan menggunakan persamaan (2.6) dan (2.7) [13]:

$$UL\ MAC\ Through + CRC = (NRE - NrREUL) \times Code\ bits \times Code\ rate \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.6)$$

$$DL\ MAC\ Throug + CRC = (NRE - NcRE - NrRE) \times Code\ bits \times Code\ rate \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.7)$$

dengan,

UL MAC Trough = Uplink MAC layer throughput

DL MAC Trough = Downlink MAC layer throughput

CRC = *Cyclic Redundancy Check* (24 bits)

NRE = Jumlah *resouce element* (RE) dalam 1 ms (168)

NcRE = Jumlah *control chanel* RE dalam 1 ms (36)

NrRE = Jumlah *reference signal* RE dalam 1 ms (12)

NrReUL = Jumlah *reference signal* Re dalam 1 ms pada *uplink* (24)

*Code bits* = *Modulation efficiency*

*Code Rate* = *Channel coding rate*

*Nrb* = Jumlah *resouce blok* yang akan digunakan

*C* = Mode antena MIMO.

Selanjutnya menghitung nilai *average throughput* menggunakan persamaan (2.8)

[13]:

$$\text{Cell average throughput(MAC)} = \sum_{n=1}^{n=8} P_n \times R_n \quad (2.8)$$

dengan,

*n* = Jumlah DL/UL *cell throughput*

*P<sub>n</sub>* = SINR *Probability*

*R<sub>n</sub>* = DL/UL *cell throughput*.

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* [13]

<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

Sehingga *throughput per cell* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9) [13]:

$$\text{Throughput per cell (IP)} = \text{Cell average throughput (MAC)} \times A \times B \times C \quad (2.9)$$

#### 2.8.1.4 Perhitungan Jumlah *site*

Untuk menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan, perlu dihitung jumlah sel (*number of cell*) total pada area yang direncanakan. Persamaan (2.10) dan (2.11) adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah sel pada *uplink* dan *downlink* [13].

Jumlah sel *uplink*:

$$\text{Number of cell} = \frac{\text{UL Network throughput}}{\text{Throughput per cell}} \quad (2.10)$$

Untuk jumlah sel *downlink*:

$$\text{Number of cell} = \frac{\text{DL Network throughput}}{\text{Throughput per cell}} \quad (2.11)$$

Adapun jumlah *site* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12) [13]:

$$\text{Number of site} = \frac{\text{Number of cell}}{\text{Number of cell per site}} \quad (2.12)$$

#### 2.8.2 *Planning by coverage*

*Planning by coverage* merupakan sebuah teknik perencanaan untuk menghitung jumlah sel yang dibutuhkan untuk mencakup seluruh daerah perencanaan. langkah-langkah yang dilakukan pada *planning by coverage* sebagai berikut: perhitungan *link budget*, perhitungan luas sel, dan perhitungan *site*.

##### 2.8.2.1 *Link budget calculation*

Perhitungan ini berfungsi untuk mengetahui nilai redaman maksimum dari propagasi gelombang yang masih ditoleransi agar *eNodeB* dan *user equipment*



masih bisa terhubung dengan baik di daerah cakupannya, nilai ini disebut dengan *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL).

Nilai MAPL *uplink* dapat dihitung menggunakan persamaan [14]:

$$MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF \quad (2.13)$$

$$MSRS = R_{s\_eNodeB} + L_{cable} + IM - GR \quad (2.14)$$

$$R_{s\_eNodeB} = SINR + TN_{eNodeB} + NF_{eNodeB} \quad (2.15)$$

dengan,

MAPL<sub>uplink</sub> : *Maximum Allowable Path Loss uplink* (dB)

EIRP<sub>subcarrier</sub> : *Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier* (dBm)

MSRS : *Minimum signal reception strenght* (dBm)

PL : *Penetration loss* (dB)

SF : *Shadow fading margin* (dB)

R<sub>s\_eNodeB</sub> : *Receiver Sensitivity eNodeB* (dBm)

L<sub>cable</sub> : *Loss cable receiver* (dB)

IM : *Interference Margin* (dB)

GR : *Gain antenna receiver* (dBi)

NF<sub>eNodeB</sub> : *Noise Figure eNodeB* (dB)

TN<sub>eNodeB</sub> : *Thermal Noise per sub-carrier* (dBm)

SINR : *Required Signal Interference Noise Ratio.*

Sisi *downlink* perhitungan MAPL menggunakan persamaan [14]:

$$MAPL\_downlink = EIRP\_subcarrier - MSRS - PL - SF \quad (2.16)$$

$$MSRS = RS\_ue + LB\_rx + IM \quad (2.17)$$

$$RS\_ue = TN + NF\_ue + SINR \quad (2.18)$$

$$EIRP\_subcarrier = P\_subcarrier + GT - L\_cable\_tx \quad (2.19)$$

dengan,

$MAPL\_downlink$  : *Maximum Allowable Path Loss downlink* (dB)

$EIRP\_subcarrier$  : *Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier* (dBm)

$MSRS$  : *Minimum signal reception strenght* (dBm)

$PL$  : *Penetration loss* (dB)

$SF$  : *Shadow fading margin* (dB)

$MSRS$  : *Minimum Signal Reception Strenght* (dBm)

$RS\_ue$  : *Receiver Sensitivity UE* (dBm)

$LB\_rx$  : *Loss body receiver* (dB)

$IM$  : *Interference Margin* (dB)

$TN$  : *Thermal Noise per subcarrier* (dBm)

$NF\_ue$  : *Noise Figure UE* (dB)

$SINR$  : *Required Signal Interference Noise Ratio* (dB)

$Psubcarrier$  : *Subcarrier transmit power* (dBm)

$GT$  : *Gain anntena transmitter* (dBi)

$L\_cable\_tx$  : *Loss cable transmitter.*

### 2.8.2.2 Luas Site

Pada simulasi, diperlukan model propagasi untuk mengetahui jari-jari sel, di antaranya model: Okumura Hatta untuk frekuensi 900 MHz dan Cost Hatta untuk frekuensi 1800 MHz. Persamaan untuk propagasi yang digunakan adalah [14]:

$$L = A + B \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 13,82 \log\left(\frac{h_{bs}}{m}\right) - \left(\frac{a(h_{MS})}{m}\right) + s \log\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + L_{clutter} \quad (2.20)$$

dengan,

**Tabel 2.5** Parameter *path loss*

Propagasi	Frekuensi	A	B
Okumura Hatta	150-1500 MHz	69.55	26.16
Cost Hatta	1500-2000MHz	46.3	33.9

L : Maksimum *path loss* selama propagasi sinyal

f : Frekuensi *carrier* (MHz)

$h_{bs}$  : Tinggi *eNodeB* (m)

$h_{MS}$  : Tinggi UE (m)

$a(h_{ms})$  : Faktor koreksi tinggi antara MS yang dapat dihitung dengan,

$$a(h_{MS}) = \begin{cases} 3.2 [\log(11.75h_{MS})]^2 - 4.97 & ; \text{urban} \\ [1.1 \log(f) - 0.7]h_{MS} - [1.56 \log(f) - 0.8] & ; \text{sub urban} \end{cases} \quad (2.21)$$

d : Jari-jari *site* (km)

s : *Slopes*

$$s = 44.9 - 6.55 \log\left(\frac{h_{bs}}{m}\right); \quad \text{urban} \quad (2.22)$$

$L_{clutter}$  : faktor koreksi *Clutter* berdasarkan tipe daerah yang dihitung

dengan,

$$L_{clutter} = \begin{cases} 0 & \text{Urban} \\ -\left(2 \cdot \left[\log\left(\frac{f}{28}\right)\right]^2 + 5.4\right) & \text{Sub urban} \\ -(4.78 [\log(f)]^2 - 18.33 \log(f) + 40.94) & \text{Rural} \end{cases} \quad (2.23)$$

Selanjutnya, menghitung luas *site* menggunakan persamaan [14]:

$$L = 1,95 * d^2 \quad (2.24)$$

dengan,

L = *coverage area*

d = *jari-jari site*

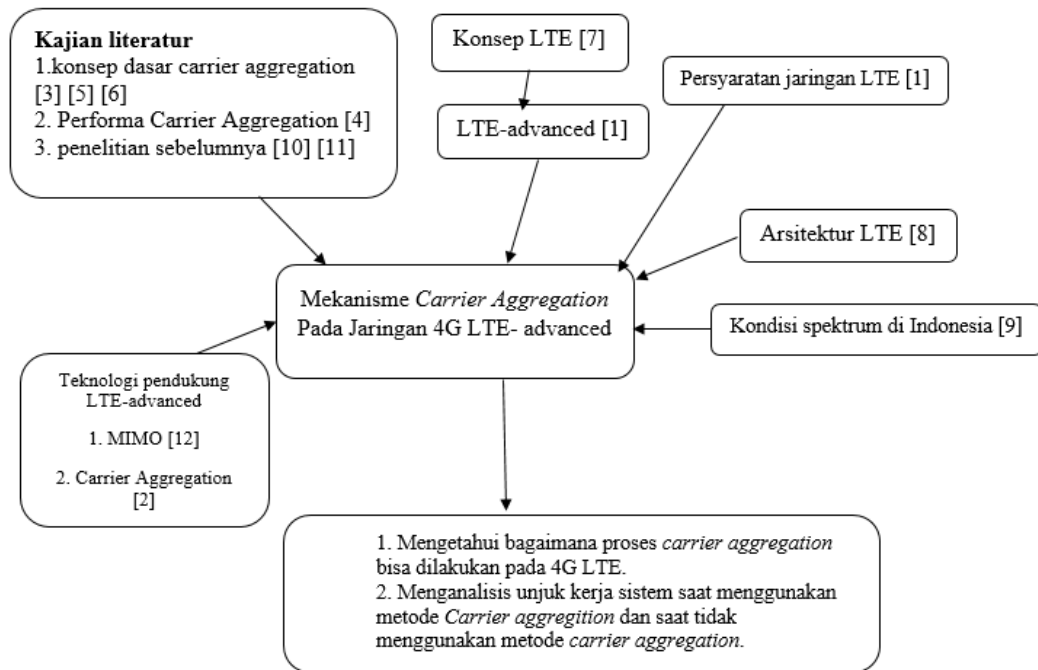
### 2.8.2.3 Jumlah *site*

Jumlah *site* pada suatu daerah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [14]:

$$\text{Jumlah site} = \text{luas area} / \text{luas site} \quad (2.25)$$

## 2.9 Framework Penelitian

Gambar 2.4 berikut ini merupakan gambar dari kerangka kerja penelitian “Mekanisme *Carrier Aggregation* Pada Jaringan 4G LTE-Advanced”



**Gambar 2.4** *Framework* Penelitian

### **III. METODE PENELITIAN**

Bab ini akan membahas mengenai metode penelitian, waktu dan tempat penelitian, jadwal kegiatan, langkah penelitian, diagram alir serta diagram sistem dengan skenario penelitian.

#### **3.1 Metode Penelitian**

Penelitian “Mekanisme *Carrier Aggregation* Pada Jaringan 4G LTE-Advanced” dilakukan melalui studi pustaka yang mendukung penelitian, seperti konsep *Long Term Evolution* (LTE), fitur utama jaringan LTE-Advanced, persyaratan penyelenggaraan jaringan 4G LTE-Advanced, pengertian *Carrier Aggregation* dan skenario *Carrier Aggregation*. Selain itu juga dilakukan untuk melihat performa jaringan setelah diterapkan metode *Carrier Aggregation*. Selanjutnya diambil kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan.

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada:

Waktu : Desember 2015- Juni 2016

Tempat : Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung

### **3.3 Tahapan Penelitian**

Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan skripsi ini sebagai berikut:

#### **3.3.1 Studi Pustaka**

Pada studi pustaka dilakukan pencarian informasi baik dari buku, jurnal, maupun Internet yang berkaitan dan mendukung penelitian ini, yaitu:

- a. Konsep, dan definisi *long term evolution* (LTE).
- b. Persyaratan penyelenggaraan jaringan LTE.
- c. Kondisi pembagian spektrum di Indonesia.
- d. Konsep dan fitur utama *LTE-Advanced*.
- e. Konsep dan skenario *Carrier Aggregation*.

#### **3.3.2 Penentuan Lokasi Simulasi**

Pada tahapan ini akan ditentukan lokasi mana simulasi akan dilakukan. Dalam skripsi ini dipilih empat Kecamatan di Kota Bandar Lampung dengan kategori daerah urban. Kecamatan tersebut adalah: Teluk Betung Utara, Teluk Betung Selatan, Enggal dan Tanjung Karang Pusat.

#### **3.3.3 Perencanaan Sistem Jaringan**

Pada tahap ini akan dilakukan perencanaan penerapan konsep *Carrier Aggregation* dan non *Carrier Aggregation* pada suatu daerah. Tahapan ini berfungsi untuk menentukan nilai-nilai dari setiap parameter yang akan dimasukkan ke dalam *software atoll*, serta berfungsi juga untuk menentukan jumlah *site* yang akan disimulasikan. Perencanaan sistem jaringan dibagi menjadi dua jenis yaitu: *Planning by capacity* dan *planning by coverage*.

*Planning by capacity* merupakan salah satu teknik perencanaan jaringan yang berfungsi untuk mengetahui jumlah sel yang harus disediakan oleh operator untuk memenuhi kapasitas *user*.

*Planning by coverage* merupakan salah satu teknik perencanaan untuk menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan guna mencakup seluruh daerah perencanaan. Dalam teknik *planning by coverage* mempertimbangkan *path loss* dan *link budget* dari peralatan yang akan digunakan.

#### **3.3.4 Simulasi Pada Software Atoll**

Pada tahap ini akan dilakukan simulasi pada *software atoll*. Simulasi ini berdasarkan pada perencanaan yang sudah dilakukan sebelumnya. Simulasi yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari mekanisme *Carrier Aggregation inter-band non-contiguous* kemudian dibandingkan dengan mekanisme *non Carrier Aggregation*.

#### **3.3.5 Melakukan Analisa dan Pembahasan**

Pada tahap ini akan dilakukan analisa dan pembahasan terkait dengan unjuk kerja dari jaringan 4G LTE-Advanced setelah diterapkan mekanisme *Carrier Aggregation inter-band non contiguous* dan dibandingkan dengan jaringan 4G LTE Advanced *non Carrier Aggregation*.

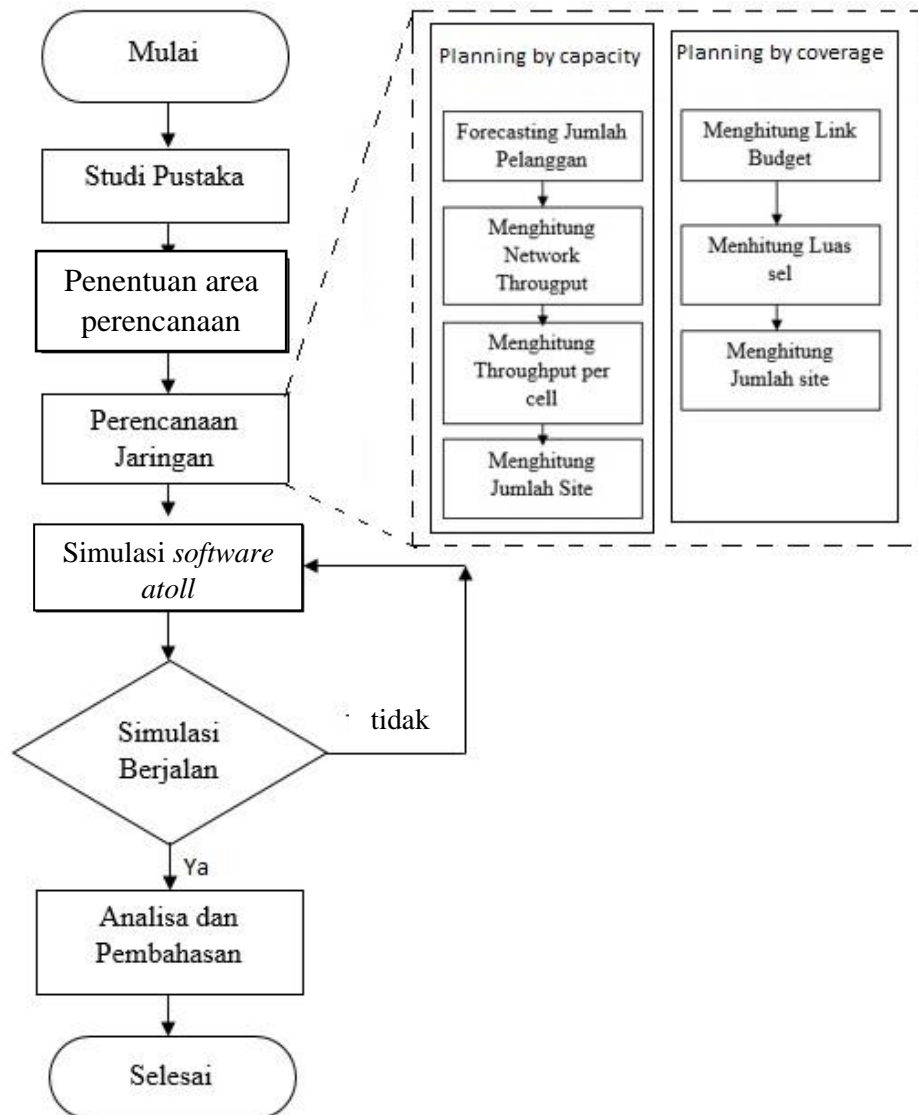
#### **3.3.6 Analisa Hasil dan Menarik Kesimpulan**

Tahap akhir dalam penelitian yaitu memperoleh kesimpulan berdasarkan hasil simulasi dengan *software atoll* yang telah dilakukan.



### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 3.1:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

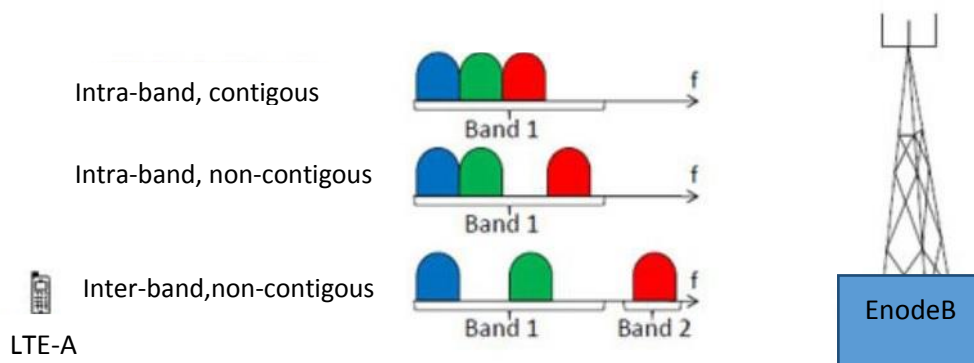
**Gambar 3.1** menunjukkan diagram alir penelitian yang digunakan untuk pengerjaan skripsi dimulai dengan studi pustaka, kemudian menentukan lokasi simulasi, melakukan perencanaan jaringan, melakukan simulasi pada *software atoll* dan menganalisa serta membahas hasil yang diperoleh. Pada skripsi ini

dilakukan dua tahap perencanaan jaringan, yaitu: *planning by capacity* dan *planning by coverage*. *Planning by capacity* adalah suatu teknik perencanaan yang didasarkan pada kebutuhan pelanggan akan suatu layanan seluler. Adapun, *planning by coverage* adalah suatu teknik *planning* yang memperhatikan spesifikasi peralatan yang digunakan untuk menjangkau seluruh daerah perencanaan. Setelah kedua teknik perencanaan dilakukan maka dipilihlah satu teknik perencanaan dengan jumlah *site* terbanyak sebagai dasar untuk melakukan simulasi pada *software atoll*.

### 3.5 Diagram Sistem

Diagram sistem penelitian terdiri dari model sistem dan skenario perancangan mekanisme *Carrier Aggregation*, dijelaskan sebagai berikut.

#### 3.5.1 Model Sistem



**Gambar 3.2** Model Sistem *Carrier Aggregation* [13]

**Gambar 3.2** Menggambarkan model sistem mekanisme *Carrier Aggregation* yang diterapkan pada jaringan 4G LTE-Advanced. Tiga buah skenario dalam *Carrier Aggregation* tergantung pada posisi *component carrier* yang akan di agregasi. Skenario *Carrier Aggregation* yaitu: *Intra-band contiguous*, *intra-band*

*non-contiguous*, dan *inter-band non-contiguous*. Namun, pada skripsi ini hanya akan digunakan metode *Carrier Aggregation inter-band non-contiguous*.

### **3.5.2 Skenario**

Pada skripsi ini dilakukan tiga buah skenario yang kemudian dibandingkan hasil unjuk kerja dari masing-masing skenario tersebut. Skenario tersebut adalah *carrier aggregation inter-band non-contiguous* pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz dengan total *bandwidth* 25 MHz, selanjutnya adalah skenario *non carrier aggregation* pada frekuensi 900 MHz dengan *bandwidth* 5 MHz dan skenario *non carrier aggregation* pada frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz. Pengujian ini menggunakan parameter spesifikasi peralatan milik Huawei [13], tetapi tinggi antena pada sisi *user equipment* bukanlah nilai yang lazim digunakan pada umumnya melainkan nilai hasil pembulatan. Tabel 3.1 memuat spesifikasi peralatan yang digunakan:

Tabel 3.1 Spesifikasi Peralatan

Equipment for Carrier Aggregation			
1800 MHz		900 MHz	
Frequency	Primary : 1800 MHz	Frequency	Primary : 900MHz
	Secondary : -		Secondary : 1800 MHz (Carrier aggregation only)
Bandwidth	Primary : 20 MHz	Bandwidth	Primary : 5 MHz
	Secondary : -		Secondary : 20 MHz (Carrier aggregation only)
Spasi subcarrier	15 KHz	Spasi subcarrier	15 KHz
General Equipment			
Parameter Transmitter (UE)		Parameter Transmitter (eNodeB)	
Max Tx Power	23 dBm	Max Tx Power	46 dBm
Tinggi antenna Tx	2 m	Antenna height	30 m
Gain Tx	0 dBi	Cable Loss	0.5 dB
Parameter Receiver (eNodeB)		Thermal Noise	-132.22 dBm
Gain Rx 1800 MHz	18 dBi	Noise Figure	7 dB
Gain Rx 900MHz	14 dBi	Gain Rx 1800 MHz	18 dBi
Noise Figure	2.3 dB	Gain Rx 900 MHz	14 dBi
Thermal Noise	-132.22 dBm	Interference Margin	4 dB
Cable Loss	0.5 dB	Shadow Fading Margin	9.4 dB
Antenna Height	30 m	Parameter Receiver (UE)	
Interference Margin	1 dB	Antenna height	2 m
Shadow Fading Margin	9.4 dB	Body loss	0 dB

### **3.5.2.1 Perancangan Jaringan dengan *Carrier Aggregation***

Pada skenario ini akan dirancang suatu jaringan 4G LTE di empat Kecamatan pada Kota Bandar Lampung yang termasuk kategori daerah urban. Empat Kecamatan tersebut termasuk daerah urban karena di daerah tersebut terdapat banyak pusat keramaian seperti mal, pasar, perkantoran, rumah sakit, sekolah dan lain sebagainya. Perancangan ini dilakukan dengan menggunakan teknik *Carrier Aggregation interband non-contiguous* menggunakan frekuensi 900 MHz sebesar 5 MHz dan frekuensi 1800 MHz sebesar 20 MHz. Dalam perancangan akan dipertimbangkan teknik *planning by coverage* dan teknik *planning by capacity*. Selanjutnya, hasil perencanaan jaringan tersebut akan diuji performanya dan dibandingkan dengan jaringan yang tidak menggunakan teknik *Carrier Aggregation*.

### **3.5.2.2 Perancangan Jaringan Non *Carrier Aggregation***

Pada skenario ini akan dirancang dua buah jaringan yang merupakan jaringan non *carrier aggregation* dengan jumlah *site* yang sama dengan jaringan *carrier aggregation* yang sudah dirancang sebelumnya. Jaringan pertama, merupakan jaringan berbasis LTE dengan frekuensi 900 MHz dan *bandwidth* sebesar 5 MHz. Jaringan kedua juga merupakan jaringan berbasis LTE dengan frekuensi 1800 MHz dan *bandwidth* sebesar 20 MHz. Kedua buah jaringan ini diuji performanya dan dibandingkan dengan jaringan yang menggunakan *carrier aggregation*.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penentuan Lokasi Simulasi

Untuk mengetahui bagaimana proses *Carrier Aggregation* dilakukan, serta untuk mengetahui unjuk kerja dari proses *Carrier Aggregation*, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan *software atoll*. Simulasi akan dilakukan di Wilayah Kota Bandar Lampung dengan mengambil daerah yang termasuk dalam kategori urban. Daerah yang dipilih untuk simulasi meliputi 4 Kecamatan yang ada di Bandar Lampung yaitu Kecamatan Teluk Betung Selatan, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kecamatan Enggal dan Kecamatan Tanjung Karang Pusat.

Keempat Kecamatan tersebut memiliki luas wilayah seperti yang ditunjukkan pada

Tabel 4.1:

**Tabel 4.1** Luas Daerah [15]

No.	Nama Kecamatan	Luas wilayah (Km <sup>2</sup> )
1.	Teluk Betung Selatan	3,79
2.	Teluk Betung Utara	4,33
3.	Enggal	3,49
4.	Tanjung Karang Pusat	4,05
	<b>Total :</b>	<b>15,66</b>

Jumlah penduduk produktif dari keempat Kecamatan tersebut ditunjukkan pada

Tabel 4.2:

**Tabel 4.2** Jumlah penduduk [15]

No.	Nama Kecamatan	Jumlah penduduk produktif (jiwa)
1.	Teluk Betung Selatan	29.139.
2.	Teluk Betung Utara	35.026
3.	Enggal	19.708
4.	Tanjung Karang Pusat	35.631
	<b>Total :</b>	<b>119.504</b>

## 4.2 *Planning* jaringan

*Planning* merupakan penentuan jumlah *site* yang akan dibangun pada suatu wilayah tertentu untuk menyediakan layanan seluler. *Planning* terbagi menjadi dua yaitu *Planning by capacity* dan *planning by coverage*.

### 4.2.1 *Planning by Capacity*

Pada empat Kecamatan Wilayah Bandar Lampung yang masuk kategori urban tersebut pertama-tama akan dilakukan teknik *planning by capacity*, dengan tahap-tahap yang sudah dijelaskan sebelumnya.

#### 4.2.1.1 *Forecasting Jumlah Pelanggan*

Agar simulasi dapat dilakukan, maka diperlukan data jumlah pelanggan yang akan menggunakan layanan 4G. Data jumlah pelanggan diambil dari data jumlah penduduk pada Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung Tahun 2015. Jumlah penduduk produktif keempat Kecamatan tersebut kemudian dikalikan

dengan presentase *market share* operator penyedia layanan seluler. Dalam simulasi kali ini akan digunakan operator seluler yang memiliki *market share* terbesar di Indonesia yaitu Telkomsel. Telkomsel memiliki *market share* sebesar 50% dari total pengguna layanan seluler di Indonesia [15] Asumsi yang sama diterapkan pada empat daerah urban yang akan dijadikan area perencanaan simulasi. Selanjutnya hasil kali tersebut dikalikan dengan 30% yang merupakan perkiraan penetrasi jumlah pengguna pelanggan 4G di Indonesia menggunakan persamaan (2.1) yang diekspresikan kembali pada persamaan (4.1) berikut ini [13]:

$$JP = (Jprod \times MS) \times pred\_4G \quad (4.1)$$

Maka jumlah pelanggan adalah:

$$JP = (119.504 \text{ Jiwa} \times 50\%) \times 30 \%$$

$$JP = 17.925,6 \approx 17.926 \text{ jiwa.}$$

#### 4.2.1.2 Menghitung *Network Throughput*

Menghitung *network throughput* perlu dilakukan untuk mengetahui jumlah *throughput* yang dibutuhkan oleh pelanggan di suatu daerah tertentu. Parameter-parameter *service* pada tabel 2.1 digunakan untuk menghitung *throughput per session*-nya dengan persamaan (2.2) dan disajikan ulang pada persamaan (4.2) di bawah ini [13]:

$$\frac{\textit{Throughput}}{\textit{Session}} = \textit{Bearer Rate} \times \textit{PPP Session Time} \times \textit{PPP Session Duty Ratio} \times \left[ \frac{1}{1-\textit{BLER}} \right] \quad (4.2)$$



Perhitungan parameter *service* VoIP pada sisi *uplink* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Throughput/session} &= 26,90 \times 80 \times 0,4 \times [1/(1-0,01)] \\ &= 869,4949 \text{ Kbit} \end{aligned}$$

Pada sisi *downlink*, maka nilai *throughput/session*nya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Throughput/session} &= 26,9 \times 80 \times 0,4 \times [1/(1-0,010)] \\ &= 869,4949 \text{ Kbit} \end{aligned}$$

Cara yang sama digunakan untuk menghitung *throughput per session* untuk setiap layanan yang lain. Hasil perhitungan untuk seluruh parameter trafik *service model* ditampilkan pada tabel 4.3 berikut ini.

**Tabel 4.3** *Throughput/sessions* untuk Setiap Parameter Trafik

Traffic Parameters	UPLINK				DOWNLINK				UPLINK	DOWNLINK
	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Bearer Rate (Kbps)	PPP Session Time (s)	PPP Session Duty Ratio	BLER	Throughput/ Session (Kbit)	Throughput/ Session (Kbit)
VoIP	26.90	80	0.4	1%	26.9	80	0.4	1%	869.4949	869.4949
Video Phone	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%	4421.313	4421.313
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%	11367.27	90952.73
Streaming Media	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%	5683.636	864016.4
IMS Signalling	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%	22.10303	22.10303
Web Browsing	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%	5684.545	22737.27
File Transfer	140.69	600	1	1%	750.34	600	1	1%	85266.67	454751.5
Email	140.69	50	1	1%	750.34	15	1	1%	7105.556	11368.79
P2P File Sharing	250.11	1200	1	1%	750.34	1200	1	1%	303163.6	909503

Setelah menghitung nilai *throughput per session* akan dilakukan perhitungan *single user throughput* berdasarkan *parameter traffic model*. Dalam skripsi ini daerah yang digunakan adalah 4 Kecamatan di Kota Bandar Lampung yang termasuk dalam kategori urban menggunakan persamaan (2.3) dan disajikan kembali pada persamaan (4.3) berikut ini [13]:

$$Sut (IP) = \frac{\sum \left[ \left( \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \right) \times BHSAs \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{Peak Average Ratio}) \right]}{3600} \quad (4.3)$$

Berdasarkan tabel 4.3 dan persamaan (4.3) layanan VoIP pada sisi *uplink* daerah urban nilainya adalah:

$$\begin{aligned} \text{VoIP service single user throughput} &= 869,4949 \times 1,3 \times 100\% \times (1+20\%) \\ &= 1.356,41220 \text{ Kbit} \end{aligned}$$

Nilai VoIP pada sisi *downlink* adalah:

$$\begin{aligned} \text{VoIP service single user throughput} &= 869,4949 \times 1,3 \times 100\% \times (1+20\%) \\ &= 1.356,41220 \text{ Kbit} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, perhitungan *single user throughput* untuk tipe layanan yang lain dapat dilakukan dan hasilnya disajikan pada tabel 4.4

**Tabel 4.4** Perhitungan *single user throughput per service*

<i>User Behavior</i>	<b>URBAN</b>	
	<b>UL(Kbit)</b>	<b>DL(Kbit)</b>
VoIP	1,356.412	1,356.4122
Video	169.77842	169.77842
Video	3,069.654	3,069.6545
Real Time	545.62910	4,365.7309
Streaming	153.45817	23,328.441
IMS	31.82832	31.82832
Web	2,728.581	10,913.891
File	4,092.800	21,828.072
Email	255.80000	409.27636
P2P File	21,827.78	65,489.454
Total	34,231.72	130,962.54

Maka dapat ditentukan nilai *Single User Throughput* untuk sisi *uplink* dan *downlink* pada saat jam sibuk dengan persamaan (4.4):

$$\text{Single User Throughput busy hour} = \sum \text{Single User Throughput tiap traffic} / 3600 \text{ sec}$$

Untuk sisi *Uplink Single User Throughput busy hour*:

$$\begin{aligned} &= (1.356,41220 + 169,77842 + 3.069,65454 + 545,62910 + 153,45817 + 31,82832 + 2.728,58160 \\ &+ 4.092,80002 + 255,80000 + 21.827,78182 + 34.231,72420) / 3600 \\ &= 9,5088 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

Untuk sisi *Downlink Single User Throughput busy hour*:

$$\begin{aligned} &= (1.356,41220 + 169,77842 + 3.069,65454 + 4.365,73090 + 23.328,44180 + 31,8232 + 10.913,8 \\ &9104 + 21.828,07272 + 409,27636 + 65.489,4545 + 130.962.54085) / 3600 \\ &= 36,3785 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai dari *single user throughput*, selanjutnya dapat dihitung nilai total *throughput* pada sisi *uplink* maupun *downlink* dengan menggunakan persamaan (4.5) dan (4.6) yang merupakan pengulangan persamaan (2.4) dan (2.5) [13]:

$$\text{UL Net (IP)} = \text{JP} \times \text{UL Single user throughput} \quad (4.5)$$

$$\text{DL Net (IP)} = \text{JP} \times \text{DL Single user throughput} \quad (4.6)$$

Nilai *network throughput* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Network throughput Uplink} &= (17.926 \times 9,5088 \times 10^3) \text{ bps} \\ &= 170,455 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Network throughput downlink} &= (17.926 \times 36,3785 \times 10^3) \text{ bps} \\ &= 652,121 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

#### 4.2.1.3 Throughput per cell

Perhitungan *uplink* dan *downlink* MAC layer throughput dilakukan dengan persamaan (2.6) dan (2.7). Hasil perhitungan DL MAC Throughput dan UL MAC throughput untuk *carrier aggregation* dan *non carrier aggregation* ditunjukkan pada tabel 4.5 yang juga menunjukkan *average SINR distribution*.

**Tabel 4.5** Average SINR distribution carrier aggregation inter-band non contiguous

MCS	Code bits	Code Rate	Sinr (min)	SINR prob	DL Mac throg	UL Mac throg
QPSK 1/3	2	0,33	-1.5 - 0.3	0,28	9,899976	11,879976
QPSK 1/2	2	0,5	0.3 - 2	0,25	14,999976	17,999976
QPSK 2/3	2	0,67	2 - 4.5	0,17	20,099976	24,119976
16QAM 1/3	4	0,33	4.5 - 6	0,13	19,799976	23,759976
16QAM 1/2	4	0,5	6 - 8.5	0,1	29,999976	35,999976
16QAM 4/5	4	0,8	8.5 - 10.8	0,05	47,999976	57,599976
64QAM 1/2	6	0,5	10.8 - 12.5	0,01	44,999976	53,999976
64QAM 2/3	6	0,67	12.5 - 13.5	0,01	60,299976	72,359976

Selanjutnya untuk menghitung nilai *average throughput* dengan persamaan (4.7) yang merupakan penyajian ulang dari persamaan (2.8) [13]:

$$\text{Cell average throughput(MAC)} = \sum_{n=1}^{n=8} P_n \times R_n \quad (4.7)$$

Berikut ini perhitungan *cell average throughput* untuk *Carrier aggregation*.

$$\begin{aligned} \text{UL cell average throughput (MAC)} &= (0,28 \times 11,879976) + (0,25 \times 17,999976) + (0,17 \\ &\quad \times 24,119976) + (0,13 \times 23,759976) + (0,1 \times 35,999 \\ &\quad 976) + (0,05 \times 57,5999976) + (0,01 \times 53,999976) \\ &\quad + (0,01 \times 72,359976) \\ &= 22,759176 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{DL cell average throughput (MAC)} &= (0,28 \times 9,899976) + (0,25 \times 14,999976) + (0,17 \times \\ &\quad 20,0999976) + (0,13 \times 19,7999976) + (0,1 \times 29,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 9976)+(0,05 \times 47,999976)+(0,01 \times 44,999976) \\
& +(0,01 \times 60,299976) \\
& = 18,965976 \text{ Mbps}
\end{aligned}$$

Selanjutnya *throughput per cell* akan dihitung dengan merubah *cell layer throughput* ke layer IP.

Sehingga *throughput per cell* dapat dihitung dengan persamaan (4.8) yang merupakan ekspresi ulang dari persamaan (2.9) [13]:

$$\mathbf{Throughput\ per\ cell\ (IP) = Cell\ average\ throughput\ (MAC) \times A \times B \times C} \quad (4.8)$$

Untuk *carrier aggregation* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
UL\ throughput\ per\ cell\ (IP) &= 22,759176 \times 99,34\% \times 99,34\% \times 99,35\% \\
&= 22,3129 \text{ Mbps}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
DL\ throughput\ per\ cell\ (IP) &= 18,5904831 \times 99,34\% \times 99,34\% \times 99,35\% \\
&= 18,5940831 \text{ Mbps}
\end{aligned}$$

#### 4.2.1.4 Perhitungan Jumlah *site*

Jumlah *site* yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan persamaan (2.10), (2.11) dan (2.12) yang disajikan ulang pada persamaan (4.9), (4.10) dan (4.11) sebagai berikut [13].

Jumlah sel *uplink* yaitu:

$$\mathbf{Number\ of\ cell = \frac{UL\ Network\ throughput}{Throughput\ per\ cell}} \quad (4.9)$$

Jumlah sel *downlink* yaitu:

$$\mathbf{Number\ of\ cell = \frac{DL\ Network\ throughput}{Throughput\ per\ cell}} \quad (4.10)$$

Adapun jumlah *site* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12) yang disajikan kembali pada persamaan (4.11) berikut ini [13]:

$$\mathbf{Number\ of\ site = \frac{Number\ of\ cell}{3} \quad (4.11)}$$

**Maka untuk *Carrier Aggregation*:**

a. Jumlah sel

$$\begin{aligned} \text{Jumlah sel UL} &= 170,455/22,3129 \\ &= 7,639 \text{ sel} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah sel DL} &= 652,121/18,5940831 \\ &= 35,07141 \text{ sel} \end{aligned}$$

b. Jumlah *site*

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } site \text{ UL} &= 7,639 / 3 \\ &= 2,546433 \approx 3 \text{ site} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } site \text{ DL} &= 35,07141 / 3 \\ &= 11,69047 \approx 12 \text{ site} \end{aligned}$$

Jumlah *site* yang dibutuhkan untuk perencanaan di daerah urban di 4 Kecamatan Kota Bandar Lampung adalah sebanyak 12 *site*. Hasil perhitungan lengkap ditampilkan pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Jumlah *site* berdasarkan *Planning by capacity*

No	Klasifikasi Daerah	Nama Kecamatan	Jumlah Pelanggan LTE (Jiwa)	Network Throughput (Mbps)		Jumlah <i>site</i>	
				UL	DL	UL	DL
1	Urban	TK Pusat	17.926	170,455	652,121	3	12
2		Enggal					
3		TB Utara					
4		TB Selatan					
Jumlah			17.926	170,455	652,121	3	12

#### 4.2.2 *Planning by coverage*

*Planning by coverage* merupakan sebuah teknik perencanaan dalam menghitung jumlah sel yang dibutuhkan untuk mencakup seluruh daerah perencanaan. Langkah-langkah yang dilakukan pada *planning by coverage* sebagai berikut: perhitungan *link budget*, perhitungan luas sel, dan perhitungan *site*.

##### 4.2.2.1 *Link budget calculation*

Perhitungan ini berfungsi untuk mengetahui nilai redaman maksimum dari propagasi gelombang yang masih ditoleransi agar *eNodeB* dan *user equipment* masih bisa terhubung dengan baik di daerah cakupannya, nilai ini disebut dengan *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL). Nilai MAPL *uplink* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.13), (2.14) dan (2.15) yang disajikan kembali pada persamaan (4.12), (4.13) dan (4.14) berikut ini [14]:

$$MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF \quad (4.12)$$

$$MSRS = R_s_{eNodeB} + L_{cable} + IM - GR \quad (4.13)$$

$$R_s_{eNodeB} = SINR + TN_{eNodeB} + NF_{eNodeB} \quad (4.14)$$

Nilai MAPL *uplink* untuk 900 MHz:

- $R_{s\_eNodeB} = SINR + TN_{eNodeB} + Nf_{eNodeB}$   
 $= -7 -132,22+2,3$   
 $= -136,92 \text{ dBm}$
- $MSRs = R_{s\_eNodeB} + L_{cable\_tx} + IM + GR$   
 $= -136,92 +0,5 + 1 +14$   
 $= -149,42 \text{ dBm}$
- $MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$   
 $= 6,188 + 149,42 - 18 -9,4$   
 $= 128,204 \text{ dB}$

Hasil perhitungan diatas disajikan lebih jelas pada Tabel 4.7 yang merupakan *Link budget uplink* untuk 900 MHz

**Tabel 4.7** *Link budget uplink* 900 MHz [14]

Uplink		
Parameter	Value	Symbol
<b>Tx (User Equipment)</b>		
Tx power	23 dBm	A
<b>Subcarrier to Distribute Power</b>		
subcarrier power	48	B
Tx Body Loss	6,188 dBm	$C=A-10*\text{Log}(B)$
EIRP per subcarrier	0 dB	D
Rx (eNode B)	6,188 dBm	$E= C-D$
Thermal Noise per subcarrier	-132,22 dB	F
SINR	-7 dB	G
Rx Noise Figure	2,3 dB	H
Receiver Sensitivity	-136,92 dBm	$I=F+G+H$
Rx Antenna Gain	14 dBi	J
Rx Cable loss	0,5 dB	K
Interference Margin	1 dB	L
Min Signal Reception Strength	-149,42 dBm	$M=I-J+K+L$
<b>Path Loss &amp; shadow margin</b>		
Penetration Loss	18 dB	N
Shadow fading Margin	9,4 dB	O
Path Loss	128,204 dB	$P=F-M-N-P$



Nilai MAPL *uplink* untuk 1800 MHz:

- $R_{s\_eNodeB} = SINR + TN_{eNodeB} + Nf_{eNodeB}$   
 $= -7 -132,22+2,3$   
 $= -136,92 \text{ dBm}$
- $MSRs = R_{s\_eNodeB} + L_{cable\_tx} + IM + GR$   
 $= -136,92 +0,5 + 1 +18$   
 $= -153,42 \text{ dBm}$
- $MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$   
 $= 6,188 + 153,42 - 18 -9,4$   
 $= 132,204 \text{ dB}$

Hasil perhitungan diatas disajikan lebih jelas pada Tabel 4.8 yang merupakan *Link budget uplink* untuk 1800 MHz

**Tabel 4.8** *Link budget uplink* 1800 MHz [14]

Uplink		
Parameter	Value	Symbol
<b>Tx (User Equipment)</b>		
Tx power	23 dBm	A
<b>Subcarrier to Distribute Power</b>		
	48	B
subcarrier power	6,188 dBm	$C=A-10*\text{Log}(B)$
Tx Body Loss	0 dB	D
EIRP per subcarrier	6,188 dBm	$E=C-D$
<b>Rx (eNode B)</b>		
Thermal Noise per subcarrier	-132,22 dB	F
SINR	-7 dB	G
Rx Noise Figure	2,3 dB	H
Receiver Sensitivity	-136,92 dBm	$I=F+G+H$
Rx Antenna Gain	18 dBi	J
Rx Cable loss	0,5 dB	K
Interference Margin	1 dB	L
Min Signal Reception Strength	-153,42 dBm	$M= I - J+K+L$
<b>Path Loss &amp; shadow margin</b>		
Penetration Loss	18 dB	N
Shadow fading Margin	9,4 dB	O
Path Loss	132,204 dB	$P=F-M-N-O$

Sisi *downlink* perhitungan MAPL menggunakan persamaan (2.16), (2.17), (2.18) dan (2.19) yang disajikan ulang pada persamaan (4.15), (4.16), (4.17) dan (4.18) berikut ini [14]:

$$\mathbf{MAPL\_downlink} = \mathbf{EIRP\_subcarrier} - \mathbf{MSRS} - \mathbf{PL} - \mathbf{SF} \quad (4.15)$$

$$\mathbf{MSRS} = \mathbf{RS\_ue} + \mathbf{LB\_rx} + \mathbf{IM} \quad (4.16)$$

$$\mathbf{RS\_ue} = \mathbf{TN} + \mathbf{NF\_ue} + \mathbf{SINR} \quad (4.17)$$

$$\mathbf{EIRP\_subcarrier} = \mathbf{P\_subcarrier} + \mathbf{GT} - \mathbf{L\_cable\_tx} \quad (4.18)$$

Nilai MAPL *downlink* untuk 900 MHz:

- $\mathbf{EIRP\_subcarrier} = \mathbf{P\_subcarrier} + \mathbf{GT} - \mathbf{L\_cable\_tx}$   
 $= 15,208 + 14 - 0,5$   
 $= 28,708 \text{ dBm}$
- $\mathbf{RS\_ue} = \mathbf{TN} + \mathbf{NF\_ue} + \mathbf{SINR}$   
 $= -132,22 + 7 - 9$   
 $= -134,22 \text{ dBm}$
- $\mathbf{MSRS} = \mathbf{RS\_ue} + \mathbf{Lr\_body} + \mathbf{IM}$   
 $= -134,22 + 0 + 4$   
 $= -130,22 \text{ dBm}$
- $\mathbf{MAPL\_downlink} = \mathbf{EIRP\_subcarrier} - \mathbf{MSRS} - \mathbf{PL} - \mathbf{SF}$   
 $= 28,708 + 130,22 - 18 - 9,4$   
 $= 131,525 \text{ dB}$

Hasil perhitungan diatas disajikan lebih jelas pada Tabel 4.9 yang merupakan *Link budget downlink* untuk 900 MHz

**Tabel 4.9** *Link budget downlink* 900 MHz [14]

Downlink		
Parameter	Value	Symbol
<b>Tx (eNode B)</b>		
Tx power	46 dBm	A
Subcarrier to Distribute Power	1200	B
subcarrier power	15,208 dBm	$C=A-10*\text{Log}(B)$
Tx antenna gain	14 dBi	D
Tx cable loss	0,5 dB	E
EIRP per subcarrier	28,708 dBm	$F=C+D-E$
<b>Rx (User Equipment)</b>		
Thermal Noise per subcarrier	-132,22 dB	G
SINR	-9 dB	H
Rx Noise Figure	7 dB	I
Receiver Sensitivity	-134,22 dBm	$J=G+H+I$
Rx Body Loss	0 dB	K
Interference Margin	4 dB	L
Min Signal Reception Strength	-130,22 dBm	$M=J+K+L$
<b>Path Loss &amp; shadow margin</b>		
Penetration Loss	18 dB	N
Shadow fading Margin	9,4 dB	O
Path Loss	131,525 dB	$P=F-M-N-O$

Nilai MAPL *downlink* untuk 1800 MHz:

- EIRP\_subcarrier =  $P_{\text{subcarrier}} + GT - L_{\text{cable\_tx}}$   
 $= 15,208 + 18 - 0,5$   
 $= 32,708 \text{ dBm}$
- RS\_ue =  $TN + Nf_{\text{ue}} + \text{SINR}$   
 $= -132,22 + 7 - 9$   
 $= -134,22 \text{ dBm}$
- MSRS =  $RS_{\text{ue}} + Lr_{\text{body}} + \text{IM}$   
 $= -134,22 + 0 + 4$   
 $= -130,22 \text{ dBm}$

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ MAPL\_downlink} &= \text{EIRP\_subcarrier} - \text{MSRS} - \text{PL} - \text{SF} \\
 &= 32,708 + 130,22 - 18 - 9,4 \\
 &= 135,525 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas disajikan lebih jelas pada Tabel 4.10 yang merupakan *Link budget downlink* untuk 1800 MHz

**Tabel 4.10** *Link budget downlink* 1800 MHz [14]

Downlink		
Parameter	Value	Symbol
<b>Tx (eNode B)</b>		
Tx power	46 dBm	A
<b>Subcarrier to Distribute Power</b>		
	1200	B
subcarrier power	15,208 dBm	C=A-10*Log(B)
Tx antenna gain	18 dBi	D
Tx cable loss	0,5 dB	E
EIRP per subcarrier	32,708 dBm	F=C+D-E
<b>Rx (User Equipment)</b>		
Thermal Noise per subcarrier	-132,22 dB	G
SINR	-9 dB	H
Rx Noise Figure	7 dB	I
Receiver Sensitivity	-134,22 dBm	J=G+H+I
Rx Body Loss	0 dB	K
Interference Margin	4 dB	L
Min Signal Reception Strength	-130,22 dBm	M=J+K+L
<b>Path Loss &amp; shadow margin</b>		
Penetration Loss	18 dB	N
Shadow fading Margin	9,4 dB	O
Path Loss	135,525 dB	P=F-M-N-O

#### 4.2.2.2 Luas Site

Pada simulasi, dipilih satu buah model propagasi untuk mengetahui jari-jari *site*, yaitu: Okummura hatta untuk frekuensi 900 MHz dan cost hatta untuk frekuensi 1800 MHz. Persamaan untuk propagasi yang digunakan adalah (2.20) yang disajikan kembali pada persamaan (4.19).

$$L = A + B \log\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 13,82 \log\left(\frac{h_{bs}}{m}\right) - \left(\frac{a(h_{MS})}{m}\right) + s \log\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + L_{\text{clutter}} \quad (4.19)$$

Dari perhitungan menggunakan persamaan (4.19) maka hasil perhitungan radius *site* ditunjukkan pada tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Jari-jari *site*

No.	Frekuensi	Jenis propasi	Jari-jari <i>site</i> (Km) (d )
1.	900 MHz	Okumurra Hatta	1,203230684
2.	1800 MHz	Cost Hatta	0,822438169

Selanjutnya, menghitung luas sel dengan persamaan (2.24) dan disajikan kembali pada persamaan (4.20) [14]:

$$L = 1,95 * d^2 \quad (4.20)$$

Luas *site* untuk 900 MHz adalah:

$$\begin{aligned} \text{Luas } site &= 1,95 \times 1,203230684^2 \\ &= 2,823139953 \text{ Km}^2 \end{aligned}$$

Untuk 1800 MHz maka:

$$\begin{aligned} \text{Luas } site &= 1,95 \times 0,822438169^2 \\ &= 1,318988855 \text{ Km}^2 \end{aligned}$$

#### 4.2.2.3 Jumlah *site*

Jumlah *site* pada suatu daerah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.25) dan ditulis ulang pada persamaan (4.21) [14]:

$$\text{Jumlah } site = \text{luas area} / \text{luas } site \quad (4.21)$$

Jumlah *site* untuk 900 MHz

$$\begin{aligned}\text{Jumlah } \textit{site} &= 15,66 / 2,823139953 \\ &= 5,547 \approx 6 \text{ site}\end{aligned}$$

Jumlah *site* untuk 1800 MHz

$$\begin{aligned}\text{Jumlah } \textit{site} &= 15,66 / 1,318988855 \\ &= 11,87 \approx 12 \text{ site}\end{aligned}$$

### **4.3 Simulasi *Software Atoll***

Setelah menghitung jumlah *site* yang dibutuhkan melalui teknik *planning by capacity* dan *planning by coverage*, maka didapatkan bahwa dengan teknik *planning by capacity* jumlah *site* sebanyak 12 *site*. Selanjutnya, dilakukan *plotting* pada *software atoll* dengan jumlah *site* yang didasarkan pada *planning by capacity*.

#### **4.3.1 *Plotting* Pada *Software Atoll***

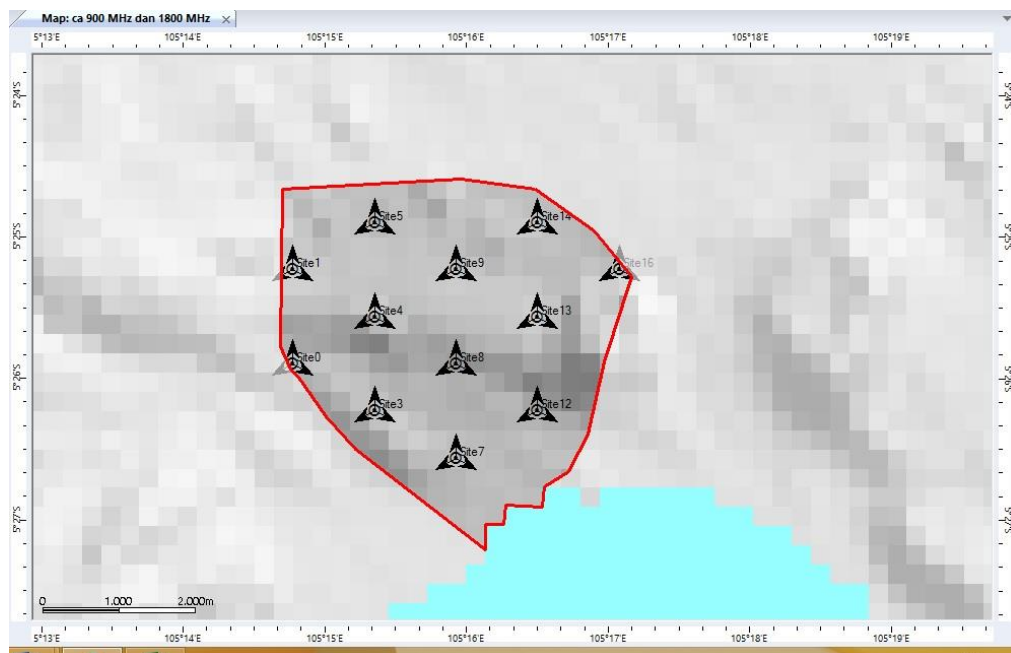
*Plotting* pada *software atoll* berdasarkan hasil perhitungan akan di *plotting* 12 *site* (penomoran tidak berurutan) di 4 Kecamatan urban dengan luas daerah 15,66 Km<sup>2</sup>.

Tabel 4.12 berikut ini menunjukkan lokasi ke 12 *site* tersebut:

**Tabel 4.12** Lokasi *site* pada *software atoll*

Name	Longitude	Latitude
Site0	105°14'46,52"E	5°25'53,83"S
Site1	105°14'46,51"E	5°25'13,87"S
Site12	105°16'30,13"E	5°26'13,75"S
Site13	105°16'30,11"E	5°25'33,82"S
Site14	105°16'30,09"E	5°24'53,86"S
Site16	105°17'4,61"E	5°25'13,81"S
Site3	105°15'21,04"E	5°26'13,78"S
Site4	105°15'21,02"E	5°25'33,85"S
Site5	105°15'21,01"E	5°24'53,89"S
Site7	105°15'55,59"E	5°26'33,76"S
Site8	105°15'55,58"E	5°25'53,8"S
Site9	105°15'55,56"E	5°25'13,84"S

Adapun penampakan posisi *site* pada *software atoll* ditunjukkan seperti pada gambar 4.1:

**Gambar 4.1** Posisi *site* pada *map software atoll*

### 4.3.2 Simulasi *coverage by signal level*

*Signal level* adalah hal yang sangat penting diukur yaitu pada UE *physical layer*.

Dengan mengetahui nilai *signal level* berarti UE mendapatkan informasi tentang kuat sinyal pada suatu sel menggunakan dasar perhitungan *path loss*.

Pengukuran *signal level* pada skripsi ini digunakan fitur *predictions coverage by signal level (DL)* yang terdapat pada *software atoll*. Standar *signal level* yang digunakan untuk membandingkan nilai simulasi ditunjukkan pada tabel 4.13

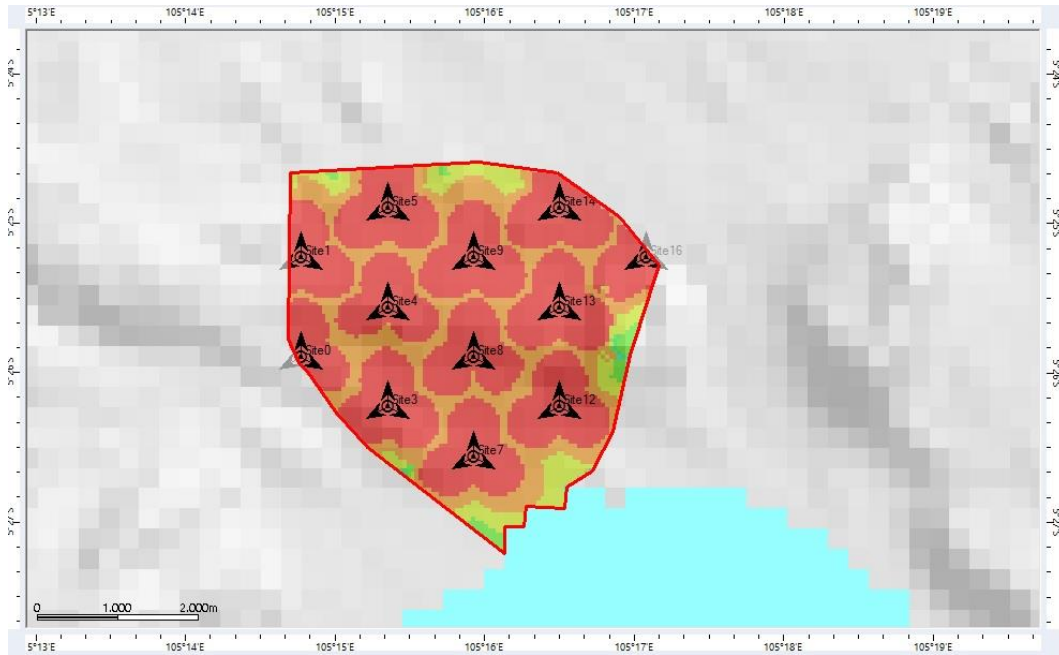
**Tabel 4.13** *Signal level quality* [17]

<b><i>Signal Level(dBm)</i></b>	$SL \leq -105$ dBm	$-105 \leq SL \leq -95$ Bm	$-95 \leq SL \leq -80$ dBm	$SL \geq -80$ dBm
<b><i>Quality</i></b>	<i>VERY BAD</i>	<i>BAD</i>	<i>GOOD</i>	<i>VERY GOOD</i>

#### 4.3.2.1 Simulasi *coverage by signal level carrier aggregation*

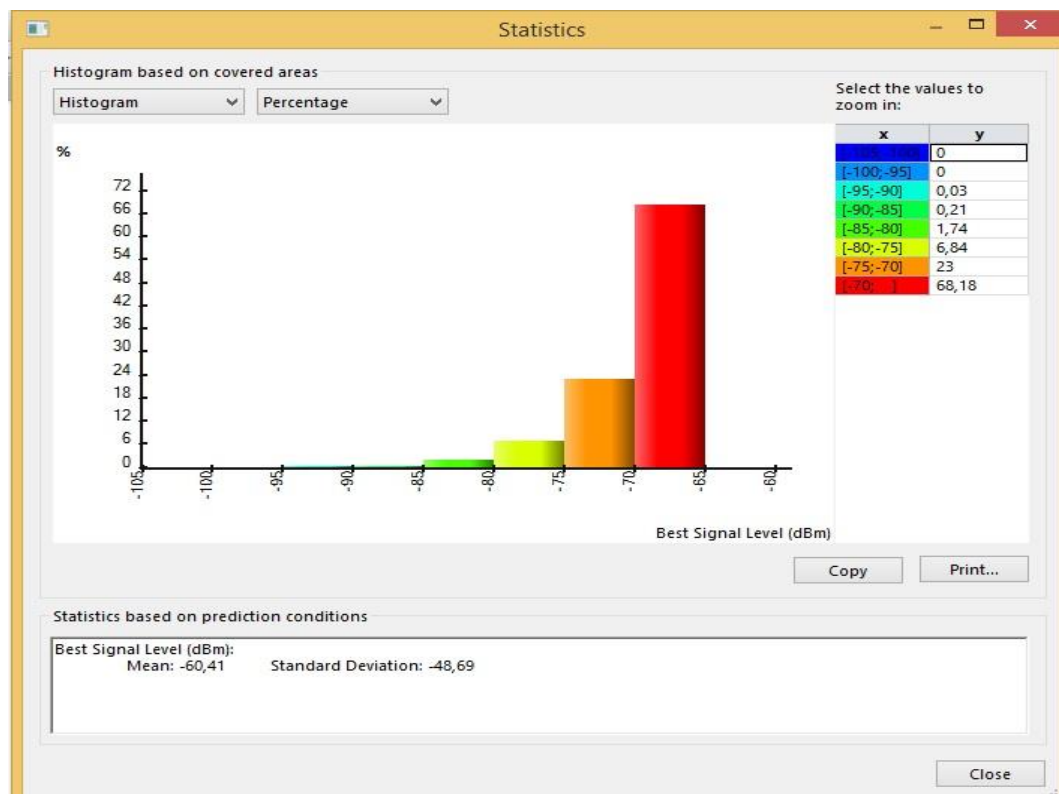
Gambar 4.2 menunjukkan hasil simulasi *coverage by signal level* teknik *carrier aggregation interband non-contiguous* yang menggunakan frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz dengan total *bandwidth* 25 MHz pada 4 Kecamatan urban di Bandar Lampung.





**Gambar 4.2** Coverage by signal level CA

Gambar 4.3 di bawah ini menunjukkan histogram *coverage by signal level* pada teknik *carrier aggregation*.

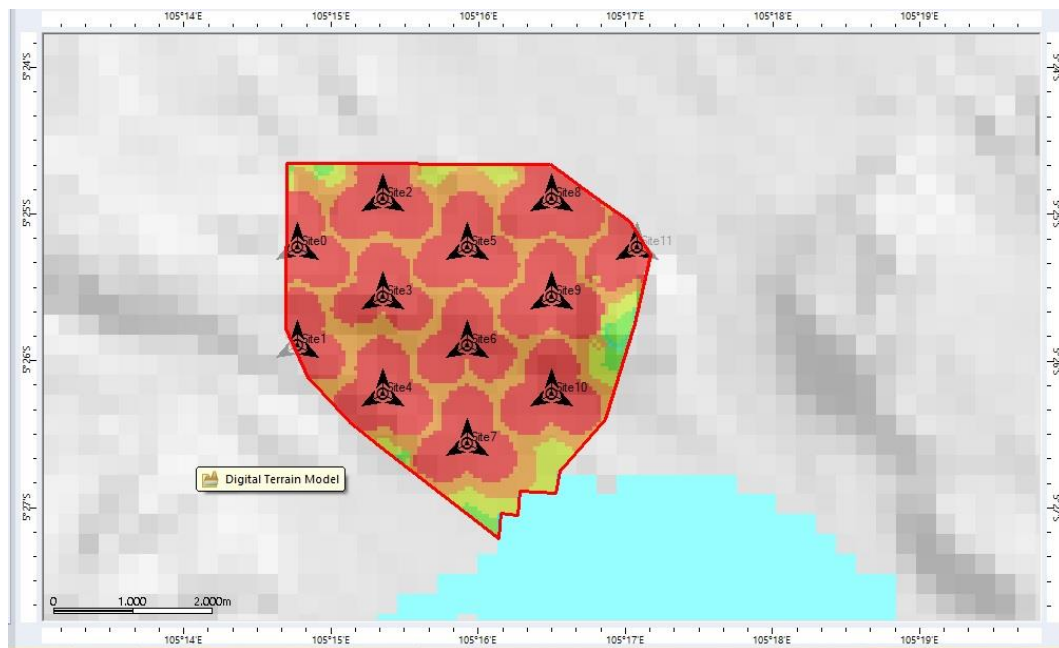


**Gambar 4.3** Histogram signal level CA

Berdasarkan hasil histogram, ditunjukkan bahwa nilai *signal level*  $\geq -80$  dBm mendominasi sebesar 98,02% yang artinya hampir menjangkau dengan baik seluruh area perencanaan. Adapun daerah 1,98% daerah perencanaan mendapatkan *signal level*  $\leq -80$  dBm, hal ini bisa saja terjadi karena faktor kontur daerah perencanaan.

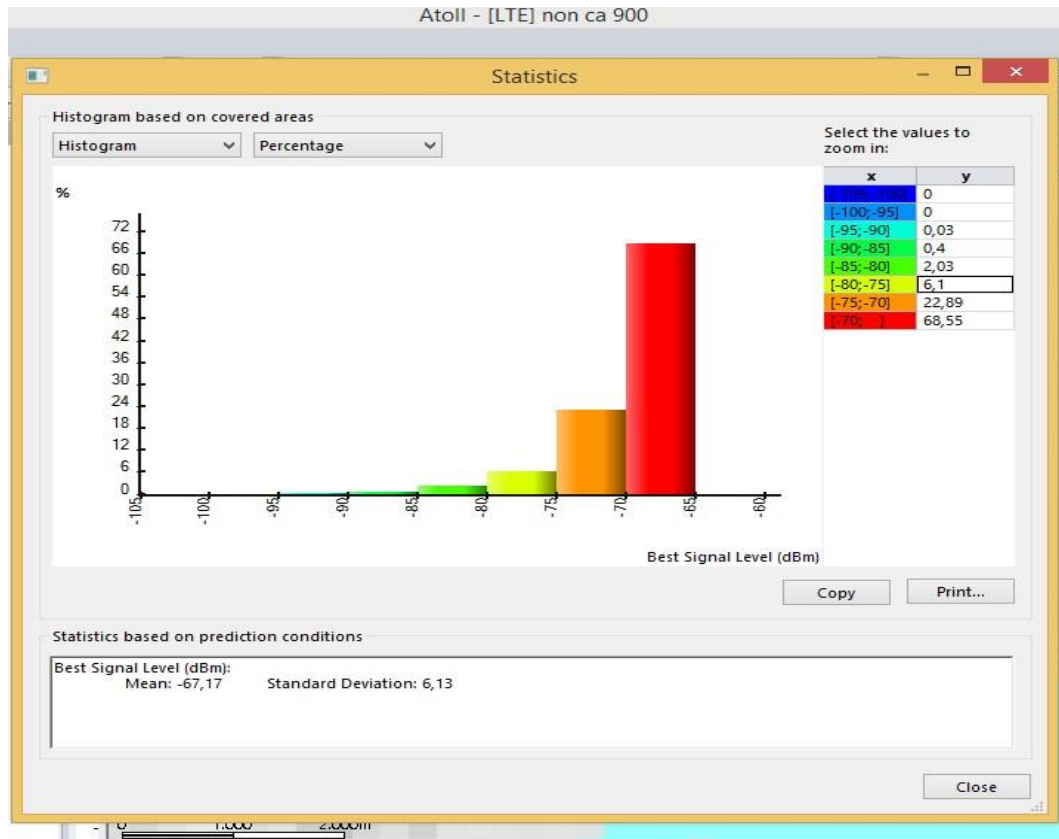
#### 4.3.2.2 Simulasi Coverage by Signal Level non-Carrier Aggregation 900 MHz

Gambar 4.4 menunjukkan hasil simulasi *coverage by signal level non-carrier aggregation* 900 MHz dengan bandwidth 5 MHz pada 4 Kecamatan urban di Bandar Lampung.



**Gambar 4.4** Coverage by Signal Level non CA

Gambar 4.5 di bawah ini menunjukkan histogram simulasi *coverage by signal level* untuk non-carrier aggregation dengan frekuensi 900 MHz.

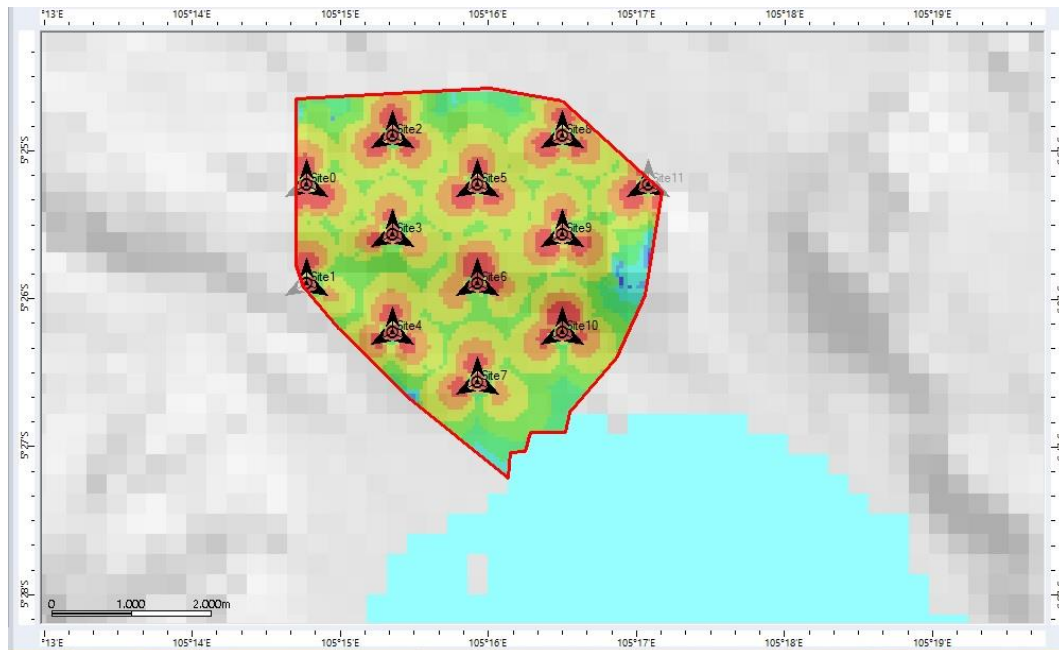


**Gambar 4.5** Histogram coverage by signal level non CA 900 MHz

Histogram menunjukkan bahwa nilai *signal level*  $\geq -80$  dBm mendominasi sebesar 97,54% yang artinya sebagian besar wilayah tercover dengan baik. Adapun sebesar 2,46 % mendapatkan nilai *signal level*  $\leq -80$  dBm. hal ini bisa saja terjadi karena faktor kontur daerah perencanaan.

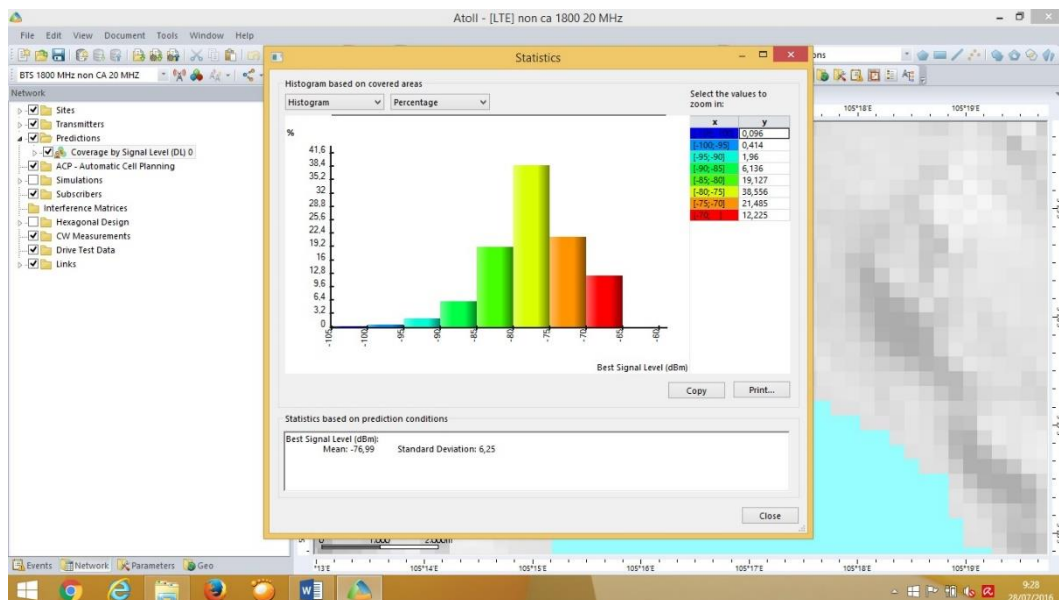
#### 4.3.2.3 Simulasi Coverage by Signal Level non-Carrier Aggregation 1800 MHz

Gambar 4.6 berikut ini menunjukkan hasil simulasi *coverage by signal level non-carrier aggregation* 900 MHz dengan *bandwidth* 5 MHz pada 4 Kecamatan urban di Bandar Lampung.



**Gambar 4.6** Simulasi *coverage by signal level* non CA 1800 MHz

Selanjutnya, keterangan jelas mengenai gambar 4.6 dapat dilihat pada gambar 4.7 yang menunjukkan histogram simulasi *coverage by signal level*.



**Gambar 4.7** Histogram *coverage by signal level* non CA 1800 MHz

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada simulasi *non-carrier aggregation* di frekuensi 1800 MHz nilai *signal level*  $\geq -80$  dBm sebesar 91,39 %. Adapun sebesar 8,06 %

mendapatkan nilai *signal level*  $\leq -80$  dBm. Hal ini bisa saja terjadi karena faktor kontur daerah perencanaan.

#### 4.3.2.4 Perbandingan Berdasarkan *Signal Level*

Pada hasil simulasi *coverage by signal level* yang sudah dilakukan, terdapat perbedaan antara *signal level carrier aggregation* dan *non carrier aggregation*.

Perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Perbandingan *signal level* CA dan Non CA

Nilai <i>signal level</i>	<i>Carrier aggregation inter band non contiguous</i>	<i>Non carrier aggregation</i> 900 MHz	<i>Non carrier aggregation</i> 1800 MHz
$\geq -80$ dBm	98,02%	97,54%	91,39 %
$\leq -80$ dBm.	1,98%	2,46 %	8,06 %

Tabel di atas menunjukkan bahwa teknik *Carrier Aggregation interband non-contiguous* dengan frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz memiliki nilai *signal level*  $\geq -80$  dBm sebesar 98,02%. Hasil tidak berbeda jauh dari teknik *non-carrier aggregation* 900 MHz yaitu 97,54%. Hal ini disebabkan oleh penggunaan frekuensi yang sama, *Carrier Aggregation* menggunakan frekuensi *primary* 900 MHz, begitu pula dengan *non-carrier aggregation* yang menggunakan frekuensi 900 MHz.

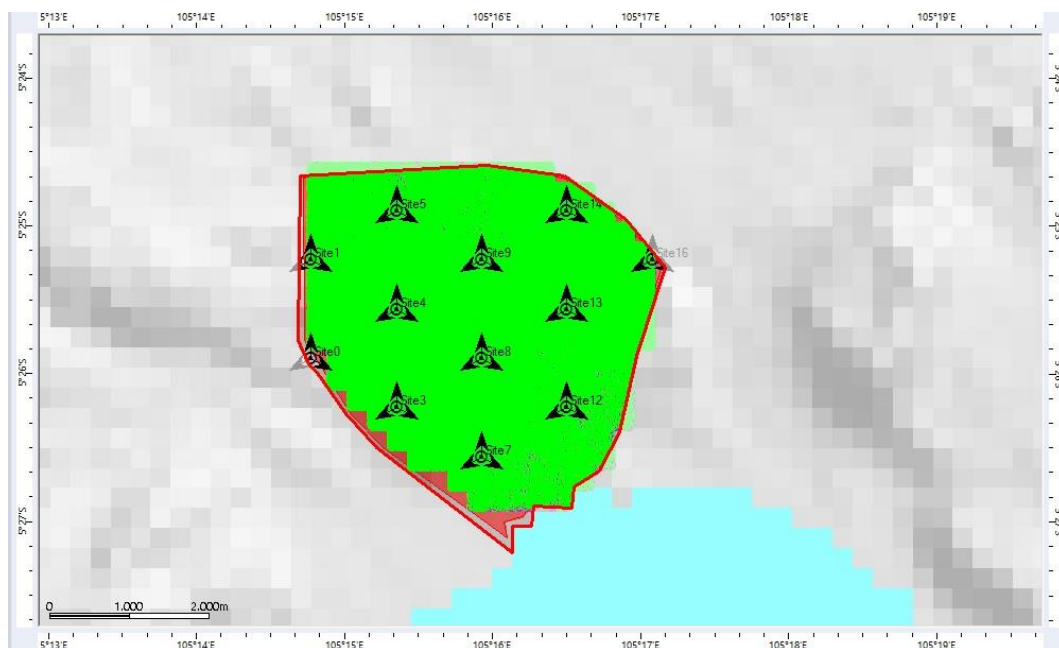
Hasil berbeda ditunjukkan pada simulasi *coverage by signal level non-carrier aggregation* dengan frekuensi 1800 MHz yang memiliki nilai *signal level*  $\geq -80$  dBm sebesar 91,39%. Hal ini karena penggunaan frekuensi yang lebih tinggi. Frekuensi yang lebih tinggi rentan terhadap pelemahan sinyal yang disebabkan oleh *obstacle*. Oleh karena itu pada simulasi kali ini teknik *carrier aggregation* dan juga *non-carrier aggregation* 900 MHz menunjukkan hasil yang lebih baik.

### 4.3.3 User Connected dan Throughput

Salah satu parameter penting dalam perbandingan jaringan adalah *user connected* dan *throughput*. Pada skripsi ini *user connected* dan *throughput* disimulasikan melalui fitur simulations pada *software atoll*. Simulasi ini biasa juga disebut dengan simulasi *monte carlo*. Simulasi *monte carlo* adalah suatu teknik yang dipakai untuk mengetahui probabilitas suatu hasil dengan melakukan percobaan berulang-ulang yang menggunakan variabel acak.

#### 4.3.3.1 Simulasi User Connected dan Througput Carrier Aggregation

Hasil simulasi *monte carlo* pada *software atoll* dapat dilihat pada gambar 4.8



**Gambar 4.8** Simulasi *monte carlo* untuk CA

Gambar 4.8 terlihat bahwa sebagian besar *user* yang ada di area tersebut terhubung (*connected*). Hal ini dapat dilihat dari banyak titik hijau yang ada pada gambar. Selain itu didapatkan pula beberapa *user* yang tertolak (*rejected*) karena keterbatasan kemampuan jaringan. Simulasi ini dilakukan sebanyak lima kali

pengulangan. Tabel 4.15 menunjukkan hasil dari simulasi *monte carlo* pada *carrier aggregation*.

**Tabel 4.15** Simulasi *Monte Carlo CA*

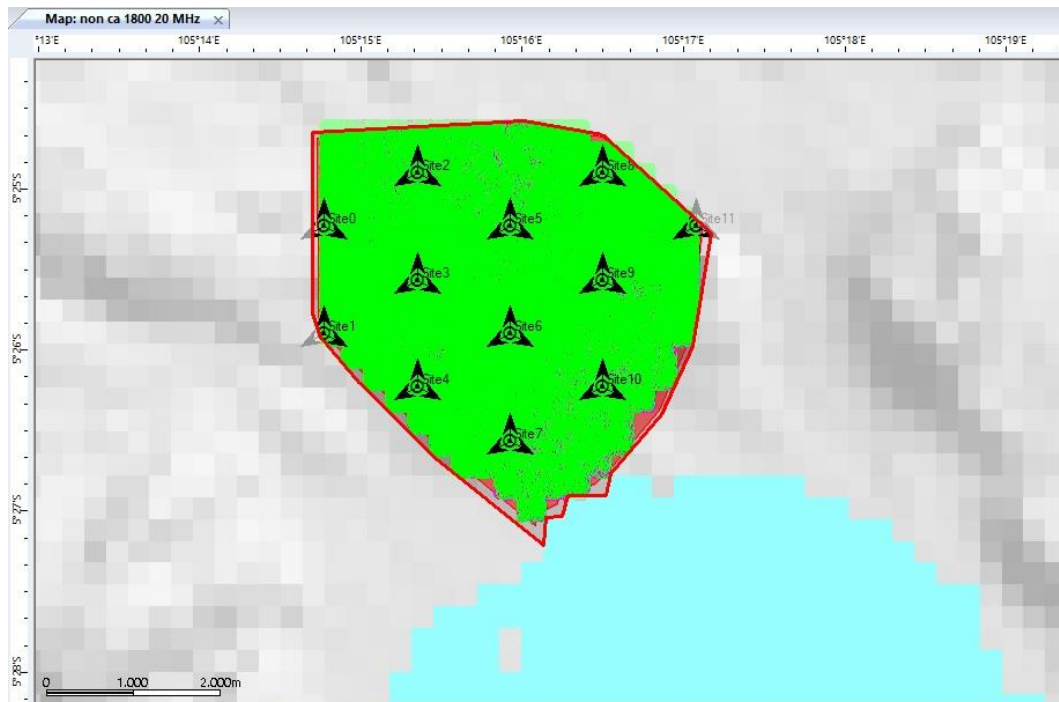
Simulasi	jumlah <i>user</i>	<i>user</i> <i>connected</i>	presentase <i>connected user</i>	<i>Throughput</i>
1	16522	15253	92,30%	554,83 Mbps
2	16719	15461	92,50%	562,39 Mbps
3	16639	15400	92,60%	560,18 Mbps
4	16537	15189	91,80%	552,5 Mbps
5	16526	15294	92,50%	556,32 Mbps
Rata-rata	16588,6	15319,4	92,3%	557,244 Mbps

Berdasarkan hasil simulasi *Monte Carlo* di 4 Kecamatan urban di Bandar Lampung, didapatkan hasil simulasi rata-rata *connected user* untuk *carrier aggregation* sebesar 92,3% dengan rata-rata *throughput* sebesar 557,244 Mbps.

#### **4.3.3.2 Simulasi *User Connected dan Througput Non-Carrier Aggregation***

##### **1800 MHz**

Hasil simulasi *non-Carrier aggregation* 1800 MHz pada *software atoll* dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Simulasi *monte carlo* Non CA 1800 MHz

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa sebagian besar *user* yang ada di area tersebut terhubung (*connected*). Hal ini dapat dilihat dari banyak titik hijau yang ada pada gambar. Selain itu didapatkan pula beberapa *user* yang tertolak (*rejected*) karena keterbatasan kemampuan jaringan. Simulasi ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan. Tabel 4.16 menunjukkan hasil dari simulasi *monte carlo* pada *non-carrier aggregation* 1800 MHz.

**Tabel 4.16** Hasil simulasi *Monte Carlo* Non Ca 1800 MHz

simulasi	jumlah <i>user</i>	<i>user connected</i>	presentase <i>connected user</i>	<i>Throughput</i>
1	16558	13670	82,60%	497,25 Mbps
2	16347	13555	82,90%	493,06 Mbps
3	16317	13548	83%	492,81 Mbps
4	16683	13703	82,10%	494,45 Mbps
5	16521	13551	82%	492,92 Mbps
rata-rata	16485,2	13605,4	82,5%	494,098 Mbps

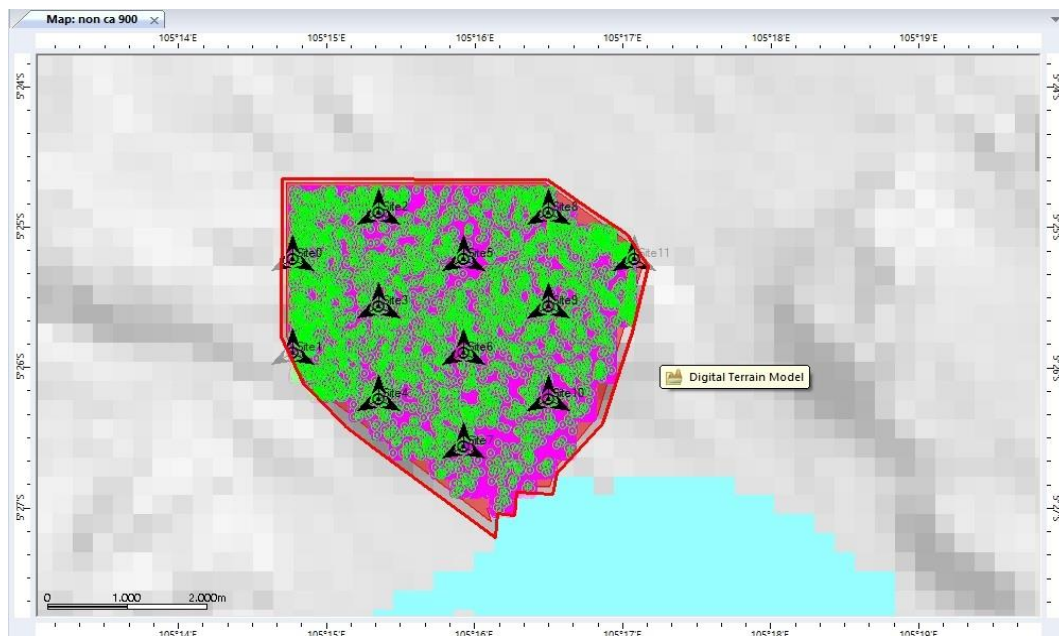


Berdasarkan hasil simulasi *monte carlo* di 4 Kecamatan urban di Bandar Lampung didapatkan hasil simulasi rata-rata *connected user* untuk *non carrier aggregation* 1800 MHz sebesar 82,5% dengan rata-rata *throughput* sebesar 494,098 Mbps.

#### 4.3.3.3 Simulasi *User Connected dan Throuugput Non-Carrier Aggregation*

##### 900 MHz

Hasil simulasi *non Carrier aggregation* 900 MHz dapat dilihat pada gambar 4.10 di bawah ini.



**Gambar 4.10** Simulasi *monte carlo* Non CA 900 MHz

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa sebagian besar *user* tidak terkoneksi. Hal ini dapat dilihat dari sedikitnya titik hijau yang ada pada layar simulasi, dibandingkan dengan dua simulasi sebelumnya. Simulasi ini dilakukan sebanyak lima kali pengulangan. Tabel 4.17 menunjukkan hasil dari simulasi *monte carlo* pada *non-carrier aggregation* 900 MHz.

**Tabel 4.17** Hasil simulasi *Monte Carlo* Non CA 900 MHz

Simulasi	jumlah user	user connected	presentase connected user	Throughput
1	15500	2811	18,10%	102,5 Mbps
2	15520	2822	18,20%	102,65 Mbps
3	15361	2826	18,40%	102,8 Mbps
4	15400	2839	18,40%	103,27 Mbps
5	15473	2789	18,00%	101,45 Mbps
Rata-rata	15450,8	2817,4	18,2%	102,534 Mbps

#### 4.3.3.4 Perbandingan Hasil Simulasi

Perbandingan hasil simulasi *carrier aggregation*, *non-carrier aggregation* 900 MHz, dan *non-carrier aggregation* 1800 MHz ditunjukkan pada tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Perbandingan hasil simulasi *monte carlo*

Simulasi	Presentase connected user	Throughput
CA	92,30%	557,244 Mbps
Non CA 1800 MHz	82,50%	494,098 Mbps
Non CA 900 MHz	18,20%	102,534 Mbps

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kedua teknik *non-carrier aggregation* nilai presentase *connected user* dan nilai *throughput* nya lebih kecil dibandingkan dengan mekanisme *carrier aggregation*. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan *bandwidth* pada masing-masing simulasi. Pada teknik *carrier aggregation* menggunakan frekuensi *primary* 900 MHz dan frekuensi *secondary* 1800 MHz dengan total *Bandwidth* 25 MHz. Untuk teknik *non-carrier aggregation* menggunakan frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz dan selanjutnya teknik *non-carrier aggregation* 900 MHz dengan *bandwidth* 5 MHz. Berdasarkan hasil simulasi di atas, *carrier aggregation* dapat dijadikan alternatif bagi operator

untuk menjalankan layanan 4G LTE, walaupun operator tersebut tidak mempunyai *bandwidth* 20 MHz secara utuh sebagai syarat digelarnya layanan 4G LTE. Metode *carrier aggregation* juga dapat menekan biaya yang dikeluarkan operator untuk membeli lisensi penggunaan frekuensi, dan juga investasi infrastruktur. Namun, dalam skripsi ini tidak membahas mengenai analisa keuntungan penggunaan *carrier aggregation* dari sisi ekonomi.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil simulasi *coverage by signal level*, didapatkan bahwa nilai *signal level*  $\geq -80$  dBm untuk *carrier aggregation* sebesar 98,02% dan nilai *signal level*  $\geq -80$  dBm untuk *non carrier aggregation* dengan *bandwidth* 5 MHz pada frekuensi 900 MHz tidak jauh berbeda yaitu sebesar 87,54%. Namun, terjadi perbedaan yang cukup jauh ketika simulasi *non-carrier aggregation* frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz yang menunjukkan *coverage by signal level*  $\geq -80$  dBm sebesar 91,39%. Hal ini dikarenakan perbedaan penggunaan frekuensi. Untuk *carrier aggregation* digunakan frekuensi primary 900 Mhz, begitu pula untuk *non-carrier aggregation* yang memiliki *bandwidth* 5 MHz menggunakan frekuensi 900 MHz, sedangkan untuk *non Carrier aggregation* dengan *bandwidth* 20 MHz frekuensi yang digunakan adalah 1800 Mhz.
2. Berdasarkan hasil simulasi *monte carlo* didapatkan *connected user* pada mekanisme *carrier aggregation* sebesar 92,30% dan untuk *non-carrier aggregation* dengan *bandwidth* 5 MHz pada frekuensi 900 MHz sebesar 18,20%, sedangkan untuk *non carrier aggregation* dengan *bandwidth* 20 MHz pada frekuensi 1800 Mhz sebesar 82,50%. Nilai *throughput* untuk CA sebesar 557,224 Mbps, dan untuk non CA dengan *bandwidth* 5 MHz pada frekuensi

900 MHz sebesar 102,534 Mbps, sedangkan untuk *non-carrier aggregation* pada frekuensi 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz sebesar 494,098 Mbps.

3. *Carrier aggregation* dapat dijadikan solusi untuk mengatasi masalah *bandwidth* di Indonesia. Karena berdasarkan hasil simulasi, parameter uji yang dibandingkan lebih baik dibandingkan mekanisme *single carrier* pada frekuensi 900 dengan *bandwidth* 5 MHz, maupun 1800 MHz dengan *bandwidth* 20 MHz.

## 5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat membahas tentang proses unjuk kerja *carrier aggregation* pada frekuensi rendah, serta unjuk kerja *carrier aggregation* dengan mengkombinasikan tiga buah *component carrier*.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan *software atoll* terbaru yang sudah mendukung *carrier aggregation* dengan tiga buah *componet carrier*.

## 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] 4G Americas White paper, (2014), “*LTE Carrier Aggregation Technology Development and Deployment Worldwide.*”
- [3] Al-shibly, Mohammed., Habeibi, Mohamed Hadi., Chebil Jalel. (2012). “*Carrier Aggregation in Long Term Evolution-Advanced*”.
- [4] Wang, Hua., Rosa, Claudio., Pedersen, Klaus. (2010). “*Performance of Uplink Carrier Aggregation in LTE-Advanced Systems.*”
- [5] Ratasuk, Rapeepat., Tolli, dominic., Ghosh Amitava. (2010). “*Carrier Aggregation in LTE-Advanced.*”
- [6] Sharma., Durga Prasad., Gautam, Sumit., (2014). “*Distributed & Prioritised Scheduling to Implement Carrier Aggregation in LTE advanced System.*”
- [7] Saputra, Dharma winata., Usman, Uke kurniawan., Meylani, Linda., (2015). “*Analisi Perencanaan LTE-Advanced dengan Metoda Carrier Aggregation Inter-Band Non-Contiguous dan Intra-Band Non-Contiguous di Kota Bandar Lampung.*”
- [8] Hamdah, Radiah., Hafidudin., Melyani, Linda., (2015). “*Analisis Performansi Penerapan Carrier Aggregation dengan Perbandingan Skenario Secondary Cell pada Perancangan Jaringan LTE-Advanced di DKI Jakarta.*”
- [9] Saidah, Rusli, Syafruddin, (2011). “*Studi perkembangan Teknologi 4G-LTE dan WiMAX di Indonesia.*” J.Elektrikal Enjiniring. Vol.9, pp. Mei-Agustus.
- [10] Anonymous, “*Pengenalan Teknologi Long Term Evolution*”. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/29936/4/Chapter%20II.pdf>. Diakses pada: 12 oktober 2015
- [11] Setiawan, D. D. (2013). *Ekosistem dan Regulasi*. Jakarta: Ditjen SDPPI–Kementerian Kominfo.
- [12] Samurai Projects. (2013). “*Advances in Carrier Aggregation and Multi-User MIMO for LTE-Advanced: Outcomes from SAMURAI project.*”

- [13] Huawei. (2013). *LTE Radio Network Capacity Dimensioning*. Huawei Technologies Co.
- [14] Huawei. (2013). *LTE Radio Network Coverage Dimensioning*. Huawei Technologies Co.
- [15] BPS Kota Bandar Lampung. (2015). *Bandar Lampung Dalam Angka*. Bandar Lampung: Badar Pusat Statistik Kota Bandar Lampung
- [16] The Jakarta Post.(2015).”*Telkomsel aims for 50% market share in 4G/LTE*”
- [17] HUAWEI. (2012). *LTE KPI DT GUIDE & MEASURE METHOD*. Huawei LTE RNP.