



**ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LTE-*ADVANCED* DENGAN
METODE *CARRIER AGGREGATION* DAN PENAMBAHAN FITUR
FREQUENCY REUSE DI WILAYAH URBAN KOTA SURABAYA**

SKRIPSI

Oleh

**Rahman Hidayatullah
NIM 131910201031**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LTE-*ADVANCED* DENGAN
METODE *CARRIER AGGREGATION* DAN PENAMBAHAN FITUR
FREQUENCY REUSE DI WILAYAH URBAN KOTA SURABAYA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Rahman Hidayatullah
NIM 131910201031

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi berjudul "Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced dengan Metode Carrier Aggregation dan Penambahan Fitur Frequency Reuse di Wilayah Urban Kota Surabaya" telah disetujui pada:

hari, tanggal : Kamis, 28 Maret 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.

Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T.

NIP. 19840531 200812 1 004

NIP. 19890519 201504 1 001

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih untuk mendekati masa depan dan meraih cita-cita di dalam hidup saya. Dengan penuh rasa syukur dengan ketulusan hati saya persembahkan karya ini kepada :

1. Kedua orang tua, Ibu Subaidah dan Bapak Hosni tercinta dan tersayang dan adik saya Bachtiar yang sangat saya banggakan;
2. Dosen Pembimbing Utama Bapak Dodi Setiabudi, S.T., M.T. dan Bapak Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini;
3. Keluarga Besar Bapak Musjafak yang telah bersedia menjadi orangtua kedua saya di jember;
4. Keluarga Besar Satuan Menwa 807 Universitas Jember;
5. Keluarga Ikatan Teknik Elektro Universitas Jember 2013;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

Sembahlah Allah dan janganlah kamu mempersekutukan-Nya dengan sesuatupun. Dan berbuat baiklah kepada dua orang ibu-bapak, karib-kerabat, anak-anak yatim, orang-orang miskin, tetangga yang dekat dan tetangga yang jauh, dan teman sejawat, ibnu sabil dan hamba sahayamu. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang sombong dan membangga-banggakan diri.^{*)}

Jangan menjelaskan tentang dirimu kepada siapapun, karena yang menyukaimu tidak butuh itu dan yang membencimu tidak percaya itu.^{**)}

“Ikhtiar, Jujur dan Ikhlas adalah kunci dalam mengarungi roda kehidupan”^{***)}

^{*)} Q.S An Nisaa', 4:36

^{**)} Ali bin Abi Thalib

^{***)} Rahman Hidayatullah

PERNYATAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahman Hidayatullah

NIM : 131910201031

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul “Analisis Perencanaan Jaringan LTE-*Advanced* dengan Metode *Carrier Aggregation* dan Penambahan Fitur *Frequency Reuse* di Wilayah Urban Kota Surabaya” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 April 2019

Yang menyatakan,

Rahman Hidayatullah
NIM 131910201031

SKRIPSI

**ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LTE-*ADVANCED* DENGAN
METODE *CARRIER AGGREGATION* DAN PENAMBAHAN FITUR
FREQUENCY REUSE DI WILAYAH URBAN KOTA SURABAYA**

Rahman Hidayatullah
NIM 131910201031

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dodi Setiabudi, ST., MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Alfredo Bayu Satriya, S.T., MT.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Perencanaan Jaringan LTE-*Advanced* dengan Metode *Carrier Aggregation* dan Penambahan Fitur *Frequency Reuse* di Wilayah Urban Kota Surabaya” karya Rahman Hidayatullah telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 16 April 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.
NIP. 19840531 200812 1 004

Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T.
NIP. 19890519 201504 1 001

Anggota II,

Anggota III,

Ike Fibriani, S.T., M.T.
NIP. 19800207 201504 2 001

Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T.
NIP. 760014640

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced dengan Metode Carrier Aggregation dan Penambahan Fitur Frequency Reuse di Wilayah Urban Kota Surabaya; Rahman Hidayatullah 131910201031; 2019: 89 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Teknologi LTE-Advanced diperkenalkan oleh 3GPP dengan *release* 10 dan 11, LTE-Advanced sebagai evolusi dari LTE diharapkan memberikan kecepatan data *rate* yang lebih tinggi dan diharapkan memberikan efisiensi spektrum. Salah satu metode untuk perencanaan LTE-Advanced adalah *Carrier Aggregation*. Metode *Carrier Aggregation* diharapkan dapat mengoptimalkan performa jaringan LTE di Indonesia dengan menggunakan frekuensi 1800 MHz dan 900 MHz. Dalam perencanaan jaringan interferensi pada teknologi LTE tidak bisa dihindari, interferensi yang paling mendominasi adalah *co-channel interference*. sehingga dibutuhkan teknik manajemen interferensi yaitu fitur *frequency reuse*.

Pada tugas akhir ini akan membahas tentang perencanaan LTE-Advanced dengan menggunakan metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* dengan pendekatan *planning by capacity* dan *planning by coverage* pada frekuensi *Primary cell* 1800 MHz mode FDD dengan *bandwidth* 20 MHz dan frekuensi *Secondary Cell* 900 MHz mode FDD dengan *bandwidth* 10 MHz di wilayah urban Kota Surabaya, dengan memperhatikan beberapa parameter yaitu, *Signal Level*, CINR, dan *Throughput*.

Tujuan dari penelitian ini pertama merencanakan jaringan teknologi LTE-Advanced di wilayah urban Kota Surabaya dengan metode *Carrier Aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse*, kedua menghitung jumlah sel dan *site* yang dibutuhkan seoptimal mungkin dan melakukan simulasi perencanaan *coverage* dan *capacity* jaringan LTE-Advanced di wilayah urban Kota Surabaya dan ketiga Menganalisis kinerja hasil simulasi perencanaan *coverage* dan *capacity* jaringan LTE-Advanced di wilayah urban Kota Surabaya.

Hasil Penelitian menunjukkan perencanaan LTE-Advanced di wilayah urban Kota Surabaya dengan metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* menyediakan kapasitas sel arah *downlink* dengan skema *carrier aggregation deployment scenario 3* sebesar 216,00 Mbps, untuk skema *carrier aggregation deployment scenario 3 with fractional frequency reuse* sebesar 138,00 Mbps, sedangkan untuk skema *carrier aggregation deployment scenario 3 with soft frequency reuse* sebesar 236,00 Mbps. Untuk memaksimalkan cakupan di wilayah urban Kota Surabaya dengan model propagasi Cost 231 Hatta menghasilkan radius sel arah *downlink* sejauh 1,24 Km.

Untuk Perencanaan di wilayah urban Kota Surabaya skema yang sangat tepat untuk diterapkan di daerah tersebut adalah skema *carrier aggregation deployment scenario 3 with soft frequency reuse (CADS3+SFR)* dikarenakan dari segi jumlah *site* adalah yang paling sedikit yaitu 18 *site* dan dari segi nilai CINR yang paling mendekati sempurna yaitu sebesar 25,65 dB serta nilai *throughput* adalah nilai yang paling baik diantara skema yang lain yaitu sebesar 72,45 Mbps dan mampu mencakup seluruh luas wilayah urban Kota Surabaya yaitu seluas 166,21 Km².

SUMMARY

Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced dengan Metode Carrier Aggregation dan Penambahan Fitur Frequency Reuse di Wilayah Urban Kota Surabaya; Rahman Hidayatullah, 131910201031; 2019; 89 pages; Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

LTE-Advanced technology introduced by 3GPP with 10 and 11 realities, LTE-Advanced as an evolution of LTE is expected to provide higher data rate speeds and is expected to provide spectrum efficiency. One method for planning LTE-Advanced is Carrier Aggregation. The Carrier Aggregation method is expected to optimize the performance of the LTE network in Indonesia using the 1800 MHz and 900 MHz frequencies. In planning network interference on LTE technology, it cannot be avoided, the most dominant interference is co-channel interference. so that interference management techniques are needed, namely frequency reuse feature.

In this final project will discuss LTE-Advanced planning using the carrier aggregation method and the addition of frequency reuse features with planning by capacity and planning by coverage approaches at Primary cell 1800 MHz FDD mode with 20 MHz bandwidth and FDD Secondary Cell 900 MHz frequency with a bandwidth of 10 MHz in the urban area of the city of Surabaya, taking into account several parameters that is Signal Level, CINR, and Throughput.

The purpose of this study was to first plan the LTE-Advanced technology network in the urban area of Surabaya City with the Carrier Aggregation method and the addition of frequency reuse features, second calculate the number of cells and sites needed optimally and simulate planning of coverage and capacity of LTE-Advanced networks in urban areas Surabaya City and thirdly Analyze the performance of planning results of coverage and capacity of the LTE-Advanced network in the urban area of Surabaya City.

The results showed that the Advanced LTE planning in the urban area of Surabaya City with the carrier aggregation method and the addition of the frequency reuse feature provided a downlink direction cell capacity with carrier aggregation deployment scenario 3 scheme of 216.00 Mbps, for the carrier aggregation deployment scenario 3 with fractional frequency reuse of 138.00 Mbps, while for carrier schemes aggregation scenario 3 with soft frequency reuse is 236.00 Mbps. To maximize coverage in the urban area city of Surabaya with the Cost 231 Hata propagation model producing a cell radius downlink direction as far as 1.24 Km.

For planning in the urban area of Kota Surabaya, a very appropriate scheme to be applied in that area is the scheme of carrier aggregation deployment scenario 3 with soft frequency reuse (CABS3 + SFR) because in terms of number of sites the least is 18 sites and in terms of CINR values the most near perfect that is equal to 25.65 dB and the throughput value is the best value among other schemes which is equal to 72.45 Mbps and is able to cover the entire urban area of the city of Surabaya which is an area of 166.21 Km².

PRAKATA

Bismillahirrohmanirohim.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced dengan Metode Carrier Aggregation dan Penambahan Fitur *Frequency Reuse* di Wilayah Urban Kota Surabaya”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph.D selaku Rektor Universitas Jember.
2. Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Dosen Pembimbing Utama Bapak Dodi Setiabudi, S.T., M.T. dan Bapak Alfredo Bayu Satriya, S.T., M.T. yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Ike Fibriani, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I, Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
5. Alm. Bambang Supeno, S.T., M.T., dan Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
6. Ibu Subaidah dan Bapak Hosni selaku orangtua tercinta saya yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga sepanjang masa;
7. Keluarga Besar Bapak dan Ibu Musjafak yang telah menjadi orangtua kedua saya di perantauan dan telah memberikan dukungan serta doa sehingga saya dapat menyelesaikan Study Sarjana S1 ini;
8. Keluarga Kecil Angkatan 64 Satuan Menwa 807 Universitas Jember yang telah memberikan warna dalam kehidupan;

9. Keluarga Besar Satuan Menwa 807 Universitas Jember senior-senior yang telah membimbing saya yaitu angkatan 61, 62 dan 63 dan junior-junior yang telah memberikan semangat kepada saya yaitu angkatan 65,66,67 dan 68;
10. Seluruh Dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Universitas Jember;
11. Keluarga besar Teknik Elektro khususnya angkatan 2013, terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan;
12. Sahabat dari sejak SD, SMP hingga SMA sampai sekarang yang selalu memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi;
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih banyak yang mana telah mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian skripsi ini;

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik-Nya sehingga sebagai manusia biasa, penulis selalu terbuka terhadap masukan dan menerima segala kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan tidak lupa juga penulis menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya jika terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalam skripsi ini.

Jember, 16 April 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PERSEMBAHAN.....	iv
MOTTO	v
PERNYATAN.....	vi
PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	xi
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Matriks Perumusan Masalah	5
2.2 Pengertian <i>Long Term Evolution</i> (LTE)	8
2.3 Arsitektur <i>Long Term Evolution</i> (LTE).....	10
2.4 <i>Long Term Evolution Advanced</i> (LTE-A).....	13
2.5 <i>Carrier Aggregation</i>.....	14
2.6 Fitur <i>Frequency Reuse</i>.....	16
2.6.1 <i>Fractional Frequency Reuse</i> (FFR)	16
2.6.2 <i>Soft Frequency Reuse</i> (SFR)	17

2.7 Perencanaan Berdasarkan Kapasitas	18
2.7.1 Estimasi Jumlah Pelanggan	19
2.7.2 <i>Throughput</i> Layanan	19
2.7.3 <i>Single User</i> dan <i>Network Throughput</i>	20
2.7.4 Kapasitas Sel	22
2.7.5 <i>Cell Dimensioning</i>	22
2.8 Perencanaan Cakupan	23
2.8.1 Perhitungan <i>Link Budget</i>	23
2.8.2 Perhitungan Model Propagasi Cost 231 Hatta	26
2.8.3 <i>Cell Dimensioning</i>	26
2.9 <i>Software Radio Planning</i> Atoll	27
BAB 3. METODE PENELITIAN	28
3.1 Tahap Penelitian	28
3.2 Tempat Penelitian	29
3.3 Metode Penelitian	30
3.4 <i>Data Existing</i>	30
3.5 Perancangan Sistem.....	31
3.6 Skenario <i>Plotting Site</i>.....	34
3.6.1 <i>Carrier Aggregation Deployment Scenario 3</i>	34
3.6.2 Skema <i>Fractional Frequency Reuse</i>	35
3.6.3 Skema <i>Soft Frequency Reuse</i>	35
3.7 Perencanaan Simulasi.....	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Perencanaan Kapasitas (<i>Planning by Capacity</i>)	38
4.1.1 Estimasi Jumlah Pelanggan	38
4.1.2 <i>Throughput</i> Layanan	39
4.1.3 <i>Single User Throughput</i> dan <i>Network Throughput</i>	39
4.1.4 Kapasitas Sel	40
4.1.5 <i>Cell Dimensioning</i>	41

4.2 Perencanaan Cakupan (<i>Planning by Coverage</i>)	41
4.2.1 <i>Link Budget Calculation</i>	41
4.2.2 Perhitungan Model Propagasi dan <i>Cell Dimensioning</i>	43
4.3 Simulasi <i>Software Atoll</i>	44
4.3.1 <i>Plotting Site</i> pada <i>Software Atoll</i>	44
4.3.2 Simulasi <i>Coverage by Signal Level</i>	46
4.3.3 Simulasi <i>Coverage by CINR Level</i>	53
4.3.4 Simulasi <i>Throughput</i>	60
4.3.5 Pengaruh Hasil Perencanaan pada Setiap Skema.....	67
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Matrik Perumusan Masalah	5
Tabel 2.2 Alokasi Daya Pancar dan <i>Bandwidth Fractional Frequency Reuse</i>	17
Tabel 2.3 Alokasi Daya Pancar dan <i>Bandwidth Soft Frequency Reuse</i>	18
Tabel 2.4 Parameter <i>Service Model</i>	20
Tabel 2.5 Parameter Trafik <i>Model</i> Berdasarkan Morfologi	21
Tabel 2.6 <i>Peak Average to Ratio</i> Berdasarkan Morfologi	21
Tabel 2.7 Hubungan <i>RB Number</i> dengan <i>Bandwidth</i>	22
Tabel 3.1 Data Kependudukan Wilayah Urban Kota Surabaya	32
Tabel 3.2 Parameter <i>Link Budget</i> Arah <i>Uplink</i>	33
Tabel 3.3 Parameter <i>Link Budget</i> Arah <i>Downlink</i>	33
Tabel 3.4 Pengaturan Azimuth Antena <i>Primary Cell</i> dan <i>Secondary Cell</i>	35
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan <i>Throughput/Session</i> untuk Setiap Parameter Trafik	39
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan <i>Single User Throughput</i>	40
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan <i>Single User Throughput & Network Throughput</i>	40
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Kapasitas Sel	41
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Jumlah Sel dan Jumlah <i>Site</i>	41
Tabel 4.6 Parameter <i>Link Budget</i> Arah <i>Uplink</i>	42
Tabel 4.7 Parameter <i>Link Budget</i> Arah <i>Downlink</i>	43
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Radius Sel, Luas Sel, dan Jumlah <i>Site</i>	44
Tabel 4.9 Lokasi <i>Site</i> pada <i>Software Atoll</i>	45
Tabel 4.10 <i>Signal Level Quality</i>	46
Tabel 4.11 Perbandingan <i>Signal Level</i>	52
Tabel 4.12 <i>CINR Level Quality</i>	53
Tabel 4.13 Perbandingan <i>CINR Level</i>	59
Tabel 4.14 <i>Throughput Level Quality</i>	60
Tabel 4.15 Perbandingan <i>Throughput Level</i>	66
Tabel 4.16 Hasil Perencanaan tiap Skema	67

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Evolusi 3GPP	9
Gambar 2.2 Evolusi Jaringan LTE	10
Gambar 2.3 Arsitektur LTE	11
Gambar 2.4 Waktu <i>Release</i> 3GPP untuk <i>LTE Advenced</i>	13
Gambar 2.5 Fitur <i>Carrier Aggregation</i>	15
Gambar 2.6 <i>Carrier Aggregation Deployment Scenario</i>	16
Gambar 2.7 <i>Fractional Frequency Reuse</i>	17
Gambar 2.8 <i>Soft Frequency Reuse</i>	18
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	28
Gambar 3.2 <i>Site Existing</i> Wilayah Urban Kota Surabaya.....	30
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem	31
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Perencanaan Simulasi	36
Gambar 4.1 Posisi <i>Site</i> pada <i>Map Software</i> Atoll	45
Gambar 4.2 <i>Coverage by Signal Level</i> CADS3	46
Gambar 4.3 Histogram <i>Signal Level</i> CADS3	47
Gambar 4.4 <i>Coverage by Signal Level</i> CADS 3 + <i>Fractional Frequency Reuse</i> ..	48
Gambar 4.5 Histogram <i>Signal Level</i> CADS 3 + <i>Fractional Frequency Reuse</i>	49
Gambar 4.6 <i>Coverage by Signal Level</i> CDAS3 + <i>Soft Frequency Reuse</i>	50
Gambar 4.7 Histogram <i>Signal Level</i> CDAS3 + <i>Soft Frequency Reuse</i>	51
Gambar 4.8 <i>Coverage by CINR Level</i> CADS3	53
Gambar 4.9 Histogram <i>CINR Level</i> CADS3	54
Gambar 4.10 <i>Coverage by CINR</i> CADS3 + <i>Fractional Frequency Reuse</i>	55
Gambar 4.11 Histogram <i>CINR Level</i> CADS3 + <i>Fractional Frequency Reuse</i>	56
Gambar 4.12 <i>Coverage by CINR Level</i> CADS3 + <i>Soft Frequency Reuse</i>	57
Gambar 4.13 Histogram <i>CINR Level</i> CADS3 + <i>Soft Frequency Reuse</i>	58
Gambar 4.14 <i>Coverage by Throughput</i> CADS3	60
Gambar 4.15 Histogram <i>Throughput</i> CADS3	61
Gambar 4.16 <i>Coverage by Throughput</i> CADS3 + <i>Fractional Frequency Reuse</i> ..	62

Gambar 4.17 Histogram *Throughput* CADS3 + *Fractional Frequency Reuse*.....63

Gambar 4.18 *Coverage by Throughput* CADS3 + *Soft Frequency Reuse*64

Gambar 4.19 Histogram *Throughput* CADS3 + *Soft Frequency Reuse*.....65



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi seluler di Indonesia sangat pesat, sejak tahun 1984 mulai diperkenalkannya teknologi seluler di Indonesia dengan mengusung teknologi NMT-450 hingga saat ini mulai dipergunakannya teknologi seluler generasi ke 4 yaitu 4G LTE, bahkan sudah ada gagasan untuk memperkenalkan teknologi 4.5G dan teknologi 5G di Indonesia. Kebutuhan *user* pada saat ini bukan hanya untuk komunikasi suara melainkan untuk komunikasi data seperti gambar, *video* dan multimedia dengan aplikasi yang cukup luas. Kecepatan dan efisiensi yang tinggi sangat dibutuhkan untuk mengirim dan menerima data kapanpun dan dimanapun *user* berada. Seiring perkembangan tersebut penyedia layanan atau operator telekomunikasi diharuskan meningkatkan kualitas layanan dan jaringan nirkabelnya agar dapat memenuhi kebutuhan data dengan kecepatan yang tinggi dan kapasitas yang besar. Teknologi *Long Term Evolution* merupakan teknologi komunikasi seluler generasi ke-4 yang dirilis dengan sebutan LTE 3GPP *release* 8 yang merupakan evolusi dari teknologi GSM dan WCDMA yang mempunyai data *rate* lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi 3G, yaitu mencapai 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*. Teknologi ini sudah diterapkan di Indonesia terutama di kota-kota besar.

Kota Surabaya merupakan kota terbesar dan terpadat kedua di Indonesia setelah DKI Jakarta menurut jumlah penduduk, kota ini terletak di Provinsi Jawa Timur. Mobilitas pengguna internet di kota ini sangat tinggi terutama para pengguna telepon seluler. Menurut penelitian *open signal data existing* yang dimiliki salah satu *provider* di wilayah Surabaya menunjukkan bahwa jaringan LTE sudah tidak mampu lagi untuk menyediakan layanan dengan kualitas yang tinggi dan perlu ditingkatkan agar bisa bersaing dengan *provider* lain. Dengan banyaknya jumlah pengguna dan hasil penelitian *open signal* tersebut, maka kapasitas *cell* dan *throughput* yang diberikan oleh teknologi *long term evolution* (LTE) tidak maksimal dan perlu adanya pembaruan. Perencanaan jaringan LTE-*Advanced* merupakan salah satu opsi untuk mengatasi hal tersebut.

Teknologi LTE-*Advanced* diperkenalkan oleh 3gpp dengan *release* 10 dan 11, LTE-*Advanced* sebagai evolusi dari LTE diharapkan memberikan kecepatan data *rate* yang lebih tinggi dan diharapkan memberikan efisiensi spektrum. Teknologi LTE-*Advanced* bertujuan untuk memenuhi persyaratan *wireless next generation* atau yang biasa disebut dengan IMT-*Advanced*. LTE *Advanced* merupakan teknologi generasi ke-4 (4G) yang memberikan fitur-fitur terbaru demi mencapai data *rate* yang tinggi, data *rate* untuk LTE *Advanced* diharapkan mencapai 1 Gbps untuk sisi *downlink* dan 300 Mbps untuk sisi *uplink*. Salah satu fitur yang menjadi faktor bertambahnya data *rate* adalah dengan teknik *Carrier Agregation*. Seperti yang diketahui bahwa saat ini di Indonesia teknologi LTE telah mendapat izin untuk dikomersialkan pada spektrum 900 MHz, namun tidak optimal. Oleh karena itu, *Carrier Aggregation* diharapkan dapat mengoptimalkan performa jaringan LTE-*Advanced* di Indonesia dengan menggunakan frekuensi 1800 MHz dan 900 MHz. Untuk mendapatkan hasil penggelaran yang optimal tersebut, dibutuhkan pemilihan skenario penggelaran *carrier aggregation* yang tepat (Radiah Hamdah, 2015). Interferensi pada teknologi LTE tidak bisa dihindari, interferensi yang paling mendominasi adalah *co-channel interference*. Sehingga dibutuhkan teknik manajemen interferensi yaitu fitur *frequency reuse* (Ayu Tika Permatasari, 2016).

Pada tugas akhir ini akan membahas tentang perencanaan LTE- *Advanced* dengan menggunakan metode *inter band non-contiguous carrier aggregation* dan menggunakan skenario *carrier aggregation deployment scenario 3* (CADS3) dan penambahan fitur *frequency reuse* dengan pendekatan *planning by capacity* dan *planning by coverage* pada frekuensi *Primary cell* 1800 MHz mode FDD dengan bandwidth 20 MHz dan frekuensi *Secondary Cell* 900 MHz mode FDD dengan bandwidth 10 MHz di wilayah urban Kota Surabaya, dengan memperhatikan beberapa parameter yaitu, *Signal Level*, CINR, dan *Throughput*. Dengan metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* sebagai manajemen interferensi diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan spektrum frekuensi pada operator seluler untuk perencanaan LTE-*Advanced* di wilayah urban Kota Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, berikut ini adalah beberapa masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana perencanaan teknologi LTE-Advanced berdasarkan kapasitas (*planning by capacity*) dan cakupan (*planning by coverage*) di wilayah urban Kota Surabaya?
2. Bagaimana pengaruh metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* terhadap perancangan jaringan LTE-Advanced di wilayah urban Kota Surabaya?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah penelitian diatas, agar pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Analisa dan simulasi menggunakan *software planning* Atoll.
2. Perencanaan LTE- Advanced dilakukan pada *bandwidth* 20 MHz frekuensi 1800 MHz mode FDD sebagai *primary cell* dan 10 MHz frekuensi 900 MHz mode FDD sebagai *secondary cell* di wilayah urban Kota Surabaya.
3. Metode *carrier aggregation* yang digunakan adalah *inter-band non coutiguous carrier aggregation*.
4. Skenario yang digunakan adalah *Carrier Aggregation Deployment Scenario 3*
5. Fitur *frequency reuse* yang digunakan yaitu *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse*.
6. Perencanaan LTE-Advanced menggunakan *planning by coverage* dan *planning by capacity*.
7. Perencanaan *coverage* berdasarkan perhitungan *link budget* dan perencanaan *capacity* berdasarkan *demand throughput*.
8. Data yang digunakan adalah data sekunder.
9. Parameter yang akan dianalisis yaitu CINR, *Signal Level*, dan *Throughput*.
10. Simulasi pada Atoll berdasarkan asumsi perencanaan bidang datar dengan tanpa menggunakan peta digital.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang diusulkan dalam skripsi ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Merencanakan jaringan teknologi *LTE-Advanced* di wilayah urban Kota Surabaya dengan metode *Carrier Aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* berdasarkan *coverage* dan *capacity*.
2. Menghitung jumlah sel dan *site* yang dibutuhkan seoptimal mungkin dan melakukan simulasi perencanaan *coverage* dan *capacity* jaringan *LTE-Advanced* di wilayah urban Kota Surabaya.
3. Menganalisis kinerja hasil simulasi perencanaan jaringan *LTE-Advanced* di wilayah urban Kota Surabaya dengan metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini dijadikan referensi dalam penggunaan jaringan *LTE-Advanced* dengan perencanaan kapasitas dan cakupan di wilayah urban Kota Surabaya dengan metode *carrier aggregation*.
2. Dapat memberikan prediksi kebutuhan *eNode B* terhadap layanan *LTE-Advanced* di masa mendatang.
3. Memberikan pemilihan skema metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* yang tepat untuk diterapkan di wilayah urban Kota Surabaya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Matriks Perumusan Masalah

Pada sub-bab ini dijelaskan beberapa penelitian dari berbagai jurnal yang sudah terbit sebelumnya untuk dijadikan referensi melakukan penelitian. Dari beberapa jurnal penelitian sebelumnya dijelaskan dalam bentuk matriks perumusan masalah. Matriks perumusan masalah ini dapat dijadikan dasar dalam menentukan topik penelitian yang lebih luas dari penelitian sebelumnya. Jurnal penelitian yang ada pada tabel 2.1 matriks perumusan masalah ini diambil dari jurnal terbitan 5 tahun terakhir dan merupakan *sampel* beberapa pustaka yang dijadikan sebagai dasar dan rujukan penelitian ini. Penjelasan dari penelitian sebelumnya disajikan pada tabel 2.1 matriks perumusan masalah berikut ini.

Tabel 2.1 Matriks Perumusan Masalah

No	Masalah	Solusi	Hasil	Pustaka
1.	Permintaan kecepatan data yang tinggi sangatlah dibutuhkan untuk menggantikan sistem LTE.	Pembaruan dengan standard LTE-Advanced, dilakukan dengan teknik <i>Carrier Aggregation</i> .	<i>Carrier Agregation</i> terbukti menjadi teknik yang efisien dan layak secara ekonomi, yang dapat meningkatkan kecepatan data yang dapat dicapai.	<i>Carrier Aggregation for High Speed Data in LTE Advanced System</i> . Department of Telecommunication, Dayananda Sagar College of Engineering, Bengaluru, Karnataka, INDIA. Mallikarjun Dsheshmuk, dkk. 2013.
2.	Permasalahan kebutuhan <i>data rate</i> yang tinggi dan <i>co-interference</i> menghambat performansi yang maksimal	Melakukan <i>management interference</i> dan penambahan fitur <i>Carrier aggregation</i>	Penerapan FFR pada skenario <i>Carrier Aggregation</i> terjadi peningkatan parameter CINR	Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced Menggunakan Metode <i>Fractional Frequency Reuse</i> dan <i>Fitur Carrier Aggregation</i> Di DKI Jakarta. Universitas Telkom. Ayu Tika Permatasari, dkk. 2016.

3.	Optimalisasi Performa jaringan LTE-Advanced di Indonesia dengan menggunakan frekuensi 1800 MHz dan 900 MHz.	Penerapan Teknik <i>carrier Aggregation</i> dengan skenario penerapan <i>Secondary Cell</i>	CADS3 layak diterapkan di DKI Jakarta untuk mengoptimalkan penggelaran jaringan LTE-Advanced.	Analisis Performansi Penerapan <i>Carrier Aggregation</i> Dengan Perbandingan Skenario <i>Secondary Cell</i> Pada Perancangan Jaringan LTE-Advanced Di DKI Jakarta. Universitas Telkom. Radiah Hamdah dkk, 2015.
4.	Terbatasnya jumlah frekuensi <i>contiguous</i> pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz yang dimiliki oleh operator menjadi hambatan dalam menggelar LTE di Indonesia	Penggunaan fitur <i>carrier aggregation intra-band non-contiguous dan inter-band non-contiguous</i> menjadi solusi keterbatasan alokasi frekuensi <i>contiguous</i> yang dimiliki operator.	Jaringan dengan teknik <i>carrier aggregation inter-band non-contiguous</i> lebih baik untuk diterapkan.	Analisis Perencanaan LTE-Advanced Dengan Metoda <i>Carrier Aggregation Inter-Band Non-Contiguous Dan Intra-Band Non-Contiguous</i> Di Kota Bandar Lampung. Universitas Telkom. Dharma Winata Saputra dkk, 2015

Pada paper pertama penulis melakukan penelitian tentang analisis kinerja *carrier Aggregation* dan membandingkannya dengan LTE konvensional dengan latar belakang yaitu untuk memenuhi permintaan data tingkat tinggi untuk mendukung berbagai layanan di internet perlu adanya teknik baru yang lebih baik dengan *bandwidth* yang lebar dan sistem LTE saat ini hanya dapat mencapai kecepatan hingga 100 Mbps, tetapi dengan menggunakan *carrier aggregation* dapat mencapai kecepatan data sebesar 1 Gbps dalam *downlink*. Dalam penelitian ini menggunakan matlab untuk membuktikan bahwa dengan *carrier aggregation* dapat membuat lebar *bandwidth* bertambah yaitu semula 20 MHz menjadi 100 MHz dan kecepatannya menjadi 1 Gbps.

Pada paper kedua penulis melakukan penelitian berdasarkan latar belakang yaitu penggunaan internet yang semakin meningkat dan terbatasnya ketersediaan *bandwidth* untuk mencukupi kapasitas serta adanya interferensi yang tidak bisa dihindari dalam perencanaan LTE-Advanced. Oleh karena itu pada penelitian ini melakukan perencanaan LTE-Advanced dengan fitur *carrier aggregation* dan manajemen interferensi *fractional frequency reuse* yang dapat mengoptimalkan performa jaringan LTE Advanced. Parameter yang digunakan dalam analisis ini adalah jumlah *site*, *Reference Signal Receive Power (RSRP)*, *Signal to Interference Noise Ratio (SINR)*, *Connected User* dan *Throughput*. Hasil kapasitas performansi terjadi peningkatan SINR, namun mengalami penurunan pada *throughput* dan *connected user*.

Pada paper ketiga latar belakang penelitian ini adalah pembangunan LTE di Indonesia tidak optimal karena dibangun menggunakan band 900 MHz dimana operator hanya mendapat alokasi rentang frekuensi yang sempit. Dengan memanfaatkan *Carrier Aggregation (CA)* pada LTE-Advanced diharapkan pengalokasian band 1800 MHz dapat mengoptimalkan pembangunan jaringan LTE pada band 900 MHz. Untuk mendapatkan hasil penggelaran yang optimal tersebut, dibutuhkan pemilihan skenario penggelaran CA yang tepat. Pada jurnal ini, dibahas tentang perancangan jaringan LTE dengan menggunakan *bandwidth 5 MHz* pada band 900 MHz 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)*. Parameter yang dianalisis dalam jurnal ini adalah jumlah *site*, *Reference Signal Receive Power (RSRP)*, *Carrier to Interference Noise Ratio (CINR)*, dan *persentase user connected* berdasarkan simulasi Monte Carlo. Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi, didapatkan hasil performansi CADS3 lebih baik dari tanpa CA dan CADS2.

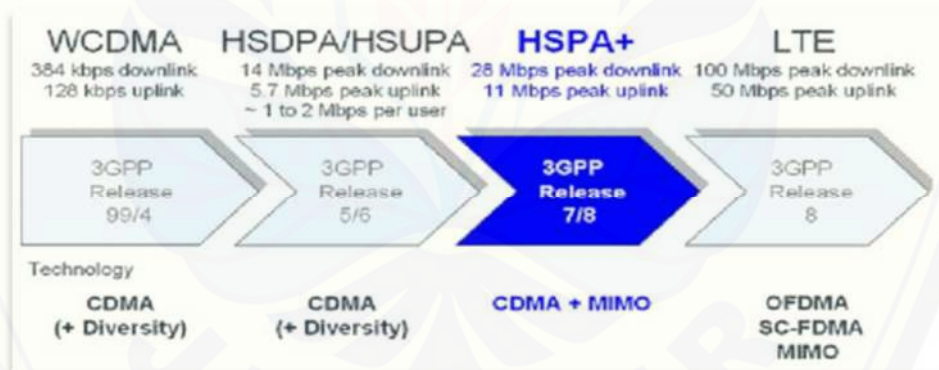
Pada paper yang keempat penulis melakukan penelitian berdasarkan latar belakang penerapan teknologi *Long Term Evolution (LTE)* di Indonesia khususnya di Kota Bandar Lampung memiliki keterbatasan pada alokasi frekuensi *contiguous* yang dimiliki oleh operator seluler. Release 10 3GPP melahirkan *LTE-Advanced* yang mendukung fitur *carrier aggregation* yaitu penggunaan dua atau lebih *component carrier* secara bersamaan baik pada band frekuensi yang sama maupun berbeda. Dengan adanya fitur *carrier aggregation* ini, operator seluler dapat menggelar teknologi LTE dengan memanfaatkan frekuensi *non-contiguous* yang dimiliki. Pada penelitian tugas akhir ini perancangan *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. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini antara lain: jumlah *site*, *signal level*, *CINR level*, *persentase user connected* dan *throughput* berdasarkan simulasi pada Software Atoll 3.2.1. Berdasarkan hasil analisis didapatkan hasil bahwa jaringan dengan teknik *carrier aggregation inter-band non-contiguous* lebih baik untuk diterapkan di Kota Bandar Lampung.

2.2 Pengertian *Long Term Evolution (LTE)*

Long Term Evolution (LTE) merupakan generasi teknologi komunikasi seluler ke empat, yaitu sebuah standar teknologi komunikasi data nirkabel yang merupakan lanjutan dari teknologi standar GSM/UMTS. Pada teknologi *long term evolution (LTE)* terjadi peningkatan kapasitas dengan penggunaan teknologi modulasinya. *Long Term Evolution (LTE)* merupakan standar teknologi komunikasi yang dikembangkan oleh 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) yang berfungsi mengatasi peningkatan permintaan akan kebutuhan layanan komunikasi seluler dengan kecepatan data tinggi dan spektrum yang lebih luas.

LTE merupakan teknologi seluler yang mampu mendukung aplikasi data, *voice* dan *video*. Kecepatan data transfer pada *downlink* sebesar 100 Mbps dan *uplink* 50 Mbps, *coverage* dan *capacity* yang diberikan pada sistem LTE lebih besar sehingga bisa mengurangi biaya operasional dan bisa mengoptimalkan penggunaan *multiple* antena.

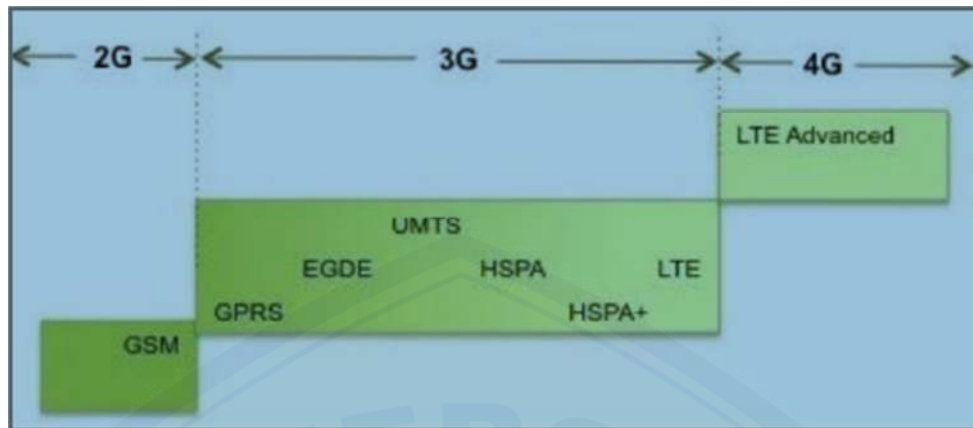
Komunikasi seluler LTE merupakan komunikasi dua arah yaitu dengan menggunakan teknik *multiple acces*, *multiple access* merupakan suatu titik yang dapat diakses oleh beberapa titik yang lain yang saling berjauhan dan tidak saling mengganggu satu sama lain. *Multiple access* pada LTE berbeda antara *downlink* dan *uplink*, *downlink* menggunakan teknik *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) sedangkan untuk sisi *uplink* menggunakan teknik *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) dan LTE bisa diterapkan pada frekuensi 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz. (Usman,U.K, dkk, 2011). Perkembangan telekomunikasi menurut standar 3GPP (*third generation partnership project*) terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Evolusi 3GPP (Sumber: M. Rachmat, dkk., 2013)

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa LTE merupakan evolusi dari jaringan seluler yang dipersiapkan untuk teknologi 4G. Adapun tujuan pengembangan teknologi pada 3GPP adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan akan pengembangan jaringan 3G dalam waktu yang akan datang.
2. Kebutuhan pelanggan akan kecepatan data yang tinggi dan *quality of service* (QOS).
3. Pengembangan teknologi *packet switching*.
4. Mengurangi biaya operasional karena arsitektur jaringan yang sederhana.



Gambar 2.2 Evolusi jaringan LTE (Sumber: M. Rachmat, dkk.,2013)

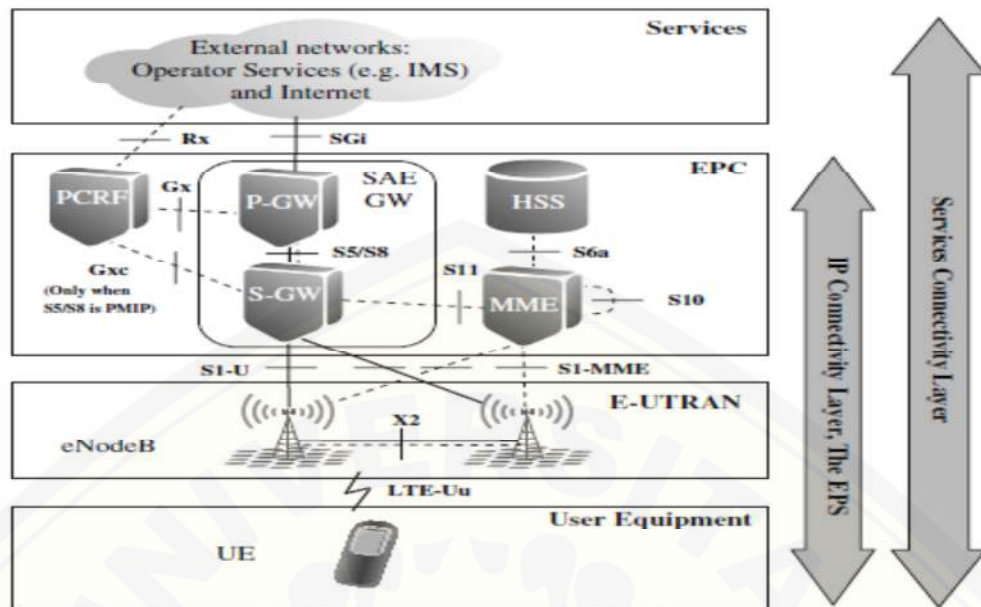
Bandwidth LTE adalah dari 1,4 MHz hingga 20 MHz. Operator jaringan dapat memilih *bandwidth* yang berbeda dan memberikan layanan yang berbeda berdasarkan spektrum. Itu juga merupakan tujuan desain dari LTE yaitu untuk meningkatkan efisiensi spektrum pada jaringan, yang memungkinkan operator untuk menyediakan lebih banyak paket data pada suatu *bandwidth*.

Beberapa kelebihan lainnya dari 4G LTE diantaranya ;

- a. Mendukung *bandwidth* yang bervariasi, yaitu 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz and 20 MHz.
- b. Dukungan untuk semua gelombang frekuensi yang saat ini digunakan oleh sistem IMT dan ITU-R, Kompatibel dengan teknologi 3GPP sebelumnya dan teknologi lainnya.
- c. Di daerah kota dan perkotaan, frekuensi *band* yang lebih tinggi (seperti 2.6 GHz di Uni Eropa) digunakan untuk mendukung kecepatan tinggi *mobile broadband*.

2.3 Arsitektur Long Term Evolution (LTE)

Arsitektur LTE dikenal dengan EPS (*Evolved Packet System*), dalam arsitektur LTE dibagi menjadi 2 yaitu *radio access* dan *core network*. *Radio access* pada LTE disebut E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Access Network*) yang berfungsi dalam modulasi dan *handover*. Sedangkan *core network* LTE yang disebut EPC (*Evolved Packet Core*) berfungsi dalam *charging* dan *mobility management* (Usman,U.K, dkk., 2011).



Gambar 2.3 Arsitektur LTE (Sumber: Usman,U.K, dkk., 2011)

Berikut ini adalah bagian dari arsitektur jaringan LTE:

1. UE (*User Equipment*)

Merupakan perangkat yang digunakan pada saat berkomunikasi, perangkat ini dapat berupa *smart phone*. UE terdiri dari USIM (*Universal Subscriber Identity Module*) yang berfungsi sebagai aplikasi *card* dan digunakan sebagai identifikasi dan *authentication user*, juga sebagai pelindung *interface* transmisi radio.

2. eNode B (*Evolved Node B*)

eNode B adalah *base station* yang berfungsi pengontrol semua fungsi yang berhubungan dengan radio, yaitu sebagai jembatan antara UE dan EPC (*Evolved Packet Core*). eNode B juga berfungsi untuk mengontrol pemakaian *interface* radio, mengontrol dan menganalisis sinyal level yang terdapat pada UE (*User Equipment*), mengontrol proses pada saat UE mengalami *handover* antar sel.

3. MME (*Mobility Management Entity*)

Mobility Management Entity (MME) adalah elemen kontrol pada EPC (*Evolved Packet Core*), fungsi MME (*Mobility Management Entity*) pada arsitektur jaringan LTE adalah :

- a. *Authentication* dan *Security* berfungsi untuk *authentication* UE (*User Equipment*) pada saat UE pertama kali melakukan registrasi ke jaringan.

authentication diperlukan untuk menjamin adanya permintaan UE, ini dilakukan untuk melindungi rahasia UE dan menghindari komunikasi dari penyadapan orang yang tidak memiliki wewenang.

- b. *Mobility Management* berfungsi untuk menjaga jalur lokasi untuk semua UE (*User Equipment*) yang berada pada *service area* dengan menjaga jalur lokasi UE sampai *eNode B*, mengontrol jalur berdasarkan aktivitas UE, mengontrol proses *handover* yang terjadi antara UE dan *eNode B*.
- c. *Managing Subscription Profile* dan *Service Connectivity* berfungsi untuk mendapatkan kembali profil pelanggan pada saat UE melakukan registrasi ke jaringan dan mengirimkan paket data *network* kepada UE (*User Equipment*).

4. S-GW (*Serving Gateway*)

S-GW (*Serving Gateway*) berfungsi sebagai pusat operasional dan *maintenance* pada MME dan *eNode B* dimana S-GW akan membangun hubungan antara *eNode B* yang satu dengan *eNode B* yang lain dan bertugas untuk melanjutkan dan menerima paket dari *eNode B* satu ke *eNode B* lain yang melayani UE (*User Equipment*).

5. P-GW (*Packet Data Network Gateway*)

P-GW (*Packet Data Network Gateway*) atau dikenal dengan PDN-GW berfungsi untuk mengalokasikan IP *address* ke UE dan sebagai fungsi *filtering*.

6. PCRF (*Policy and Charging Rules Function*)

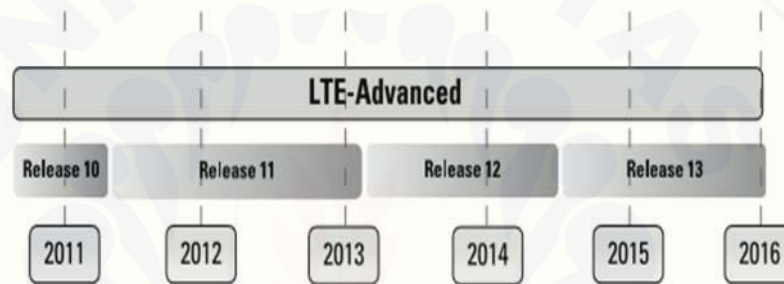
PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) berfungsi untuk mengontrol *charging* dan juga menangani QOS (*Quality of Service*).

7. HSS (*Home Subscription Server*)

Home Subscription Server (HSS) berfungsi sebagai tempat menyimpan semua data permanen *user*, data yang disimpan berisi tentang informasi layanan untuk *user* dan identitas dari *user* tersebut. Dimana *authentication user* disimpan pada AuC (*Authentication Center*).

2.4 Long Term Evolution Advanced (LTE-A)

Long Term Evolution adalah teknologi yang terstandarisasi oleh 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP). Sejak tahun 2009 teknologi LTE telah mengalami perkembangan yang pesat dengan GSM dan UMTS sebagai dasar pengembangan, 3gpp sebagai organisasi pengembang teknologi jaringan 4G LTE terus melakukan pengembangan. Pada akhirnya 3gpp mengeluarkan release 10 yang memenuhi persyaratan *international mobile telecommunication advanced* (IMT *advanced*). LTE release 10 disebut juga *LTE-Advanced*, LTE release 10 inilah teknologi 4G yang sebenarnya.



Gambar 2.4 Waktu release 3GPP untuk *LTE-Advanced* (Sumber: Larry Miller, dkk., 2016)

LTE-Advanced sebagai evolusi dari LTE diharapkan mampu untuk memberikan kecepatan data *rate* yang lebih tinggi baik pada sisi *downlink* maupun *uplink*. Selain itu, evolusi menuju *LTE-Advanced* ini diharapkan juga dapat memberikan efisiensi dalam penggunaan *spectrum*. *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
5. Dukungan *bandwidth* yang lebih lebar hingga mencapai 100 MHz.

Dua mekanisme yang ditempuh untuk mencapai prasyarat di atas adalah dengan menggabungkan *bandwidth* (*carrier aggregation*) dan meningkatkan jumlah antenna yaitu, *multiple input multiple output* (MIMO) (Lingga Wardhana, Dkk,2014).

2.5 Carrier Aggregation

3GPP Release 10 memperkenalkan teknologi LTE-Advanced yaitu metode *carrier aggregation* yang mampu meningkatkan *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan 3GPP release 8 yang hanya memiliki *bandwidth* maksimal 20 MHz, namun dengan fitur *carrier aggregation bandwidth* maksimal mencapai 100 MHz yang mendukung penggunaan operator LTE untuk transmisi *bandwidth* yang lebih luas. *Carrier aggregation* adalah salah satu fitur utama pada 4G LTE-Advanced. *Carrier aggregation* merupakan metode penggabungan dua atau lebih frekuensi *carrier* 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, *bandwidth* pada metode *carrier aggregation* bisa mencapai 100 MHz.

Beberapa metode *carrier aggregation* diantaranya:

1. Intra-band contiguous carrier aggregation

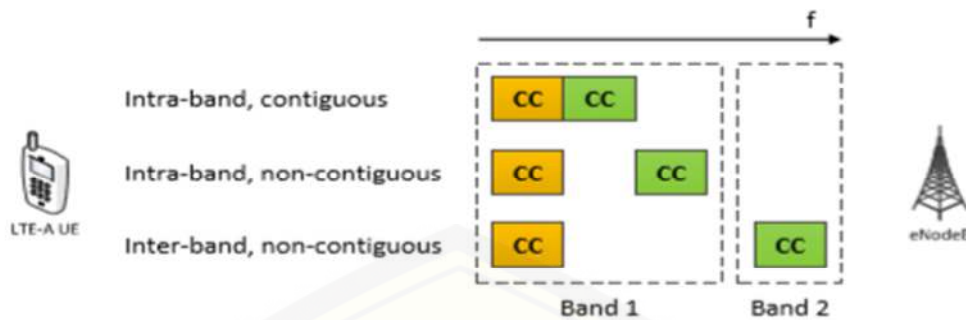
Merupakan penggabungan dua buah *component carrier* atau lebih dengan posisi bersebelahan yang berada dalam satu *band* frekuensi yang sama.

2. Intra-band non-contiguous carrier aggregation

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

3. Inter-band non-contiguous carrier aggregation

Merupakan penggabungan dua buah *component carrier* atau lebih yang berada pada *band* frekuensi yang berbeda (Antti Reinikainen, 2015).



Gambar 2.5 Fitur *carrier aggregation* (Sumber: Antti Reinikainen, 2015)

Selain beberapa fitur, *carrier aggregation* telah memiliki standar skenario sendiri dalam pelaksanaannya. Tiga skenario penyebaran dimungkinkan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Dengan hanya mempertimbangkan dua operator komponen misalnya, katakanlah *component carrier* F1 dan F2.

Berikut tiga skenario dalam *carrier aggregation* atau biasa disebut *carrier aggregation deployment scenario* diantaranya:

1. *Carrier aggregation deployment scenario 1 (CADS1)*

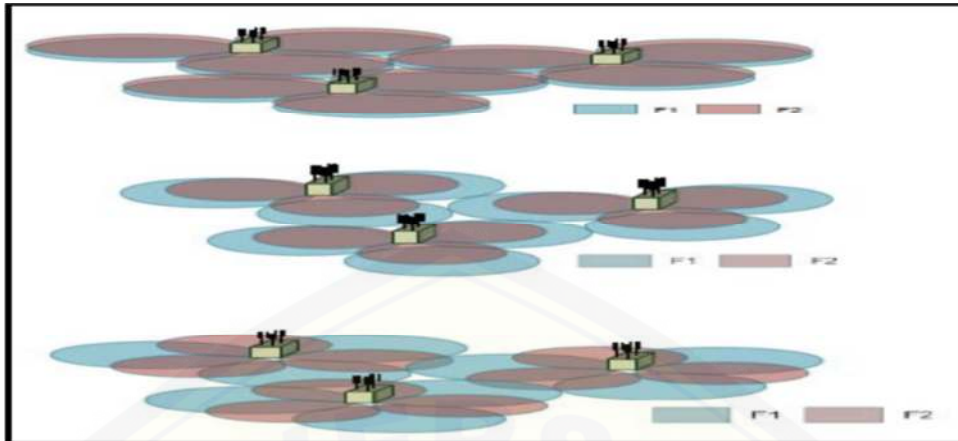
Pada skenario yang pertama kedua operator komponen berada dalam pita frekuensi yang sama dan respon antenna hampir sama, memiliki cakupan yang sama. Keduanya tumpang tindih di semua area sel dan karenanya *carrier aggregation* dimungkinkan di semua area.

2. *Carrier aggregation deployment scenario 2 (CADS2)*

Dalam skenario dua, cakupan komponen pembawa F2 memiliki cakupan yang lebih kecil daripada komponen pembawa F1, karena mereka berasal dari *band* yang terpisah secara luas. Oleh karena itu, *carrier aggregation* dimungkinkan di area yang lebih kecil, di mana mereka saling tumpang tindih.

3. *Carrier aggregation deployment scenario 3 (CADS3)*

Pada skenario tiga, respons salah satu pembawa komponen dialihkan secara sengaja, sehingga dapat meningkatkan kinerja pengguna di tepi sel. Agregasi operator juga dimungkinkan di tepi sel dan karenanya pengguna di tepi sel juga mengalami *throughput* yang tinggi (Mallikarjun D, Priti. S. Pavale, 2013).



Gambar 2.6 *Carrier aggregation deployment scenario* (Sumber: Mallikarjun D dan Priti. S. Pavale, 2013)

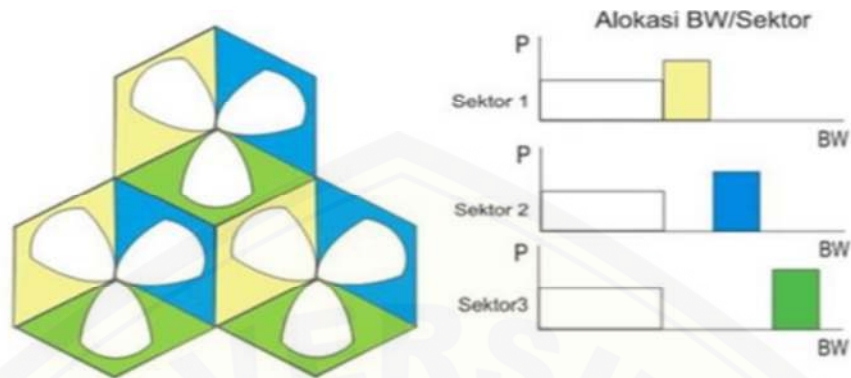
2.6 Fitur *Frequency Reuse*

Mencapai performa yang maksimal pada jaringan *LTE-Advanced* dapat terhambat karena adanya permasalahan *co-channel interference*. Untuk itu perlu adanya manajemen interferensi yang harus dilakukan agar performa jaringan lebih optimal, manajemen interferensi sendiri dapat menggunakan *frequency reuse*, *frequency reuse* adalah skema pengulangan frekuensi yang sama pada sel lain pada sistem komunikasi seluler. Latar belakang digunakannya *frequency reuse* adalah untuk penghematan pemakaian sumber frekuensi. Penerapan *frequency reuse* akan menentukan performansi jaringan baik dari kualitas sinyal, cakupan dan kapasitas sel. *Frequency reuse* sendiri terbagi menjadi dua yaitu, *fractional frequency reuse* (FFR) dan *soft frequency reuse* (SFR).

2.6.1 *Fractional Frequency Reuse* (FFR)

Fractional Frequency Reuse (FFR) merupakan skema frekuensi reuse dimana area cakupan dibagi menjadi dua area yaitu *cell centre* dan *cell edge*. Keuntungan skema FFR yaitu mampu memberikan performansi yang bagus pada *user* yang berada pada *cell edge*. Kelebihan *Fractional frequency reuse* yaitu performansi yang bagus terdapat pada *user* yang berada dipinggir sel dan *intercell interference* rendah. Kekurangan *fractional frequency reuse* yaitu ada sebagian *bandwidth* yang tidak terpakai pada setiap sektornya dan maksimum kapasitas setiap sektornya kecil.

Lebih jelasnya penerapan dari skema *Fractional Frequency Reuse* dapat dilihat pada gambar 2.7 sebagai berikut.



Gambar 2.7 *Fractional Frekuensi Reuse* (Sumber: Usman,U.K, dkk, 2011)

Berikut pada tabel 2.2 merupakan contoh alokasi daya pancar dan *bandwidth* frekuensi dengan menggunakan *Fractional Frequency Reuse*.

Tabel 2.2 Alokasi Daya Pancar dan *Bandwidth Fractional Frequency Reuse*

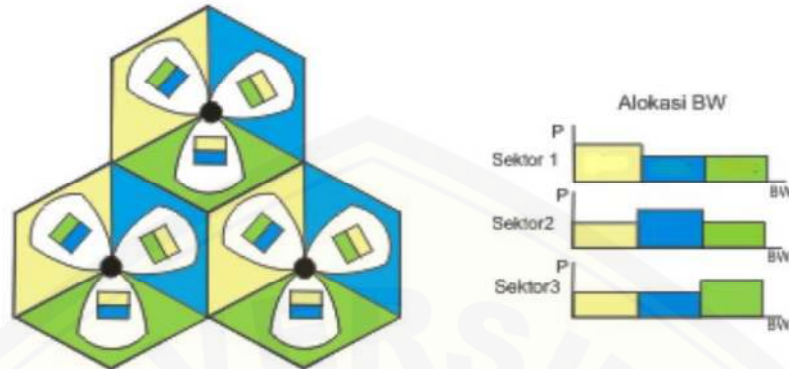
Alokasi daya pancar dan BW					
Sektor	Area	Power Boost	BW Channel	Frekuensi DL	Color
1,2,3	Cell Centre	0	5 MHz	1805-1810 MHz	
1	Cell Edge	1.2 dB	5 MHz	1810-1815 MHz	Yellow
2		1.2 dB	5 MHz	1820-1825 MHz	Blue
3		1.2 dB	5 MHz	1825-1830 MHz	Green

Sumber: (Usman,U.K, dkk., 2011)

2.6.2 *Soft Frequency Reuse* (SFR)

Sama halnya dengan skema *fractional frequency reuse*, pada skema ini satu sel dibagi menjadi tiga sektor, dimana setiap sektornya dibagi lagi dengan dua area cakupan. Cakupan yang dekat dengan antena pemancar disebut dengan *cell centre*, sedangkan daerah yang berada pada pinggiran sel disebut *cell edge*. Dalam skema *soft frequency reuse* sangat dibutuhkan *frequency planning* dan *power planning* untuk mendapatkan performansi yang bagus. Kelebihan *Soft frequency reuse* yaitu *intercell interference* rendah, performansi yang bagus pada user di pinggir sel, setiap sektor dapat memakai semua *bandwidth* yang tersedia, serta kapasitas per sel (sektor) besar dan kekurangan *Soft frequency reuse* yaitu perencanaan frekuensi kompleks, serta Membutuhkan *frequency scheduling* untuk mengurangi interferensi antar sektor.

Lebih jelasnya penerapan dari skema *Soft Frequency Reuse* dapat dilihat pada gambar 2.8 sebagai berikut.



Gambar 2.8 *Soft Frequency Reuse* (Sumber: Usman,U.K, dkk, 2011)

Berikut pada tabel 2.3 merupakan contoh alokasi daya pancar dan *bandwidth* frekuensi dengan menggunakan *Soft Frequency Reuse*.

Tabel 2.3 Alokasi Daya Pancar dan *Bandwidth Soft Frequency Reuse*

Alokasi daya pancar dan BW					
Sektor	Area	Power Boost	BW Channel	Frekuensi DL (MHz)	Color
1	Cell Centre	0 dB	15 MHz	1805-1820	Yellow
2				1820-1835	Blue
3				1835-1850	Green
1	Cell Edge	1.3 dB	5 MHz	1805-1810	Yellow
2				1810-1815	Blue
3				1815-1820	Green

Sumber: (Usman,U.K, dkk., 2011)

2.7 Perencanaan Berdasarkan Kapasitas

Perencanaan kapasitas adalah suatu teknik perencanaan jaringan untuk mengetahui jumlah *site* dengan memperhatikan dan mengakomodir seluruh kebutuhan trafik pelanggan di suatu daerah. Perencanaan kapasitas meliputi perhitungan estimasi jumlah pelanggan, perhitungan *throughput* layanan, perhitungan *single user* dan *network throughput*, perhitungan kapasitas sel, serta perhitungan jumlah sel. (Uke Kurniawan. Dkk., 2012).

2.7.1 Estimasi Jumlah Pelanggan

Perencanaan jaringan baru mempertimbangkan kebutuhan pelanggan di masa mendatang. Mengantisipasi jumlah pelanggan selama periode tersebut diperlukan prediksi pertumbuhan jumlah penduduk. Prediksi jumlah penduduk dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$U_n = U_o(1 + f_p)^n \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- U_n : jumlah penduduk pada tahun ke-n
- U_o : jumlah penduduk pada tahun perencanaan
- f_p : faktor pertumbuhan penduduk dan
- n : jumlah tahun prediksi. (Uke Kurniawan. dkk., 2012).

Estimasi jumlah pelanggan memperhitungkan *market share*, persentase jumlah penduduk produktif dan persentase penetrasi *user operator*. Secara lebih detail dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$\text{Estimasi Jumlah Pelanggan} = U_n \times Pjpp \times MS \times PPuser \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- $Pjpp$: Persentase jumlah penduduk produktif
- MS : Persentase *Market Share* operator x
- $PPuser$: Persentase penetrasi *user operator* x

2.7.2 Throughput Layanan

Jaringan yang dirancang harus mampu memberikan *throughput* minimal untuk setiap layanan agar layanan yang disediakan mampu terakses oleh *user*. Perhitungan *throughput/session* diperoleh dari persamaan berikut :

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{session}} = ST \times \text{Session duty ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left[\frac{1}{(1-BLER)} \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- Throughput/session* : *Throughput* minimal yang disediakan jaringan (Kbit)
- Bearer Rate* : Data rate yang harus disediakan layanan (Kbps)
- Session Time (ST)* : Rata-rata durasi setiap layanan (s)
- Session Duty Ratio* : Rasio data yang dikirimkan setiap sesi (s)
- BLER : *Block error rate* yang diizinkan per sesi.

Untuk Melakukan perhitungan dari persamaan *throughput per session* diatas maka didasari pada parameter data *service model* hak milik dari vendor perusahaan Huawei yang ditampilkan pada tabel 2.4 dibawah ini:

Tabel 2.4 Parameter *Service Model*

<i>Traffic Model</i>	<i>Uplink</i>				<i>Downlink</i>			
	<i>Bearrer rate (Kbps)</i>	<i>PPP Session Time (s)</i>	<i>PPP Session Duty Ratio</i>	<i>BL ER</i>	<i>Bearrer rate (Kbps)</i>	<i>PPP Session Time (s)</i>	<i>PPP Session Duty Ratio</i>	<i>BL ER</i>
VoIP	26,9	80	0,4	1%	26,9	80	0,4	1%
Video Phone	62,53	70	1	1%	62,53	70	1	1%
Video Conf.	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 Signaling	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%

Sumber: (Huawei, 2013)

2.7.3 *Single User dan Network Throughput*

Menghitung persamaan *single user throughput* harus berdasarkan pada parameter *traffic model* yang berdasarkan morfologi pada setiap tipe daerah, *traffic model* yang digunakan ini merupakan hak milik dari perusahaan vendor Huawei seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.5 berikut ini:

Tabel 2.5 Parameter *Traffic Model* Berdasarkan Morfologi

<i>User Behavior</i>	Dense Urban		Urban	
	<i>Traffic Penetration Ratio</i>	BHSA	<i>Traffic Penetration Ratio</i>	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 Signaling	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

Sumber: (Huawei, 2013)

Parameter lainnya yang dibutuhkan untuk melakukan perencanaan kapasitas jaringan adalah parameter *peak average to ratio*. Parameter ini merupakan asumsi persentase kelebihan beban *traffic* pada jaringan komunikasi. Nilai *peak average to ratio* berbeda tergantung tipe daerah atau morfologi daerahnya. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.6 berikut ini:

Tabel 2.6 *Peak Average to Ratio* Berdasarkan Morfologi

Morfologi	Dense Urban	Urban	Sub Urban
<i>Peak to Average Ratio</i>	40%	20%	10%

Sumber: (Huawei, 2013)

Setelah diketahui nilai dari parameter *traffic model* dan *peak average to ratio* berdasarkan data dari vendor Huawei, tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan *single user throughput*. Setiap *user* memiliki kebiasaan yang beragam dalam menggunakan layanan LTE. *Throughput* tiap *user* pada kondisi jam sibuk dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$SUT = \frac{(\sum \text{Throughput/session} \times BHSA \times \text{Penetration rate} \times (1+PAR))}{3600} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

SUT : *Single User Throuhhput* (kbps)

BHSA : Inisiasi penggunaan layanan selama jam sibuk

Penetration rate : Penetrasi penggunaan layanan di daerah tinjauan

PAR(*Peak to Average Ratio*) : Estimasi lonjakan trafik.

Kemudian untuk menentukan kebutuhan *throughput* keseluruhan pada daerah yang ditinjau *network throughput* diperoleh dengan persamaan berikut :

$$Network\ Throughput_{ul/DL} = Total\ Target \times SUT \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

- Total target *user* : Jumlah pelanggan hasil estimasi jumlah pelanggan
- SUT : Jumlah *throughput* tiap *user uplink* dan *downlink* (Kbps)

2.7.4 Kapasitas Sel

Perhitungan nilai kapasitas sel dilakukan untuk mengetahui kapasitas *uplink* dan *downlink* pada satu sel pada teknik *carrier aggregation*. Untuk menghitung kapasitas sel *uplink* dan *downlink* dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Kapasitas\ Sel\ UL+CRC = (168 - 24) \times Cb \times Cr \times Nrb \times C \times 1000 \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Kapasitas\ Sel\ DL+CRC = (168 - 36 - 12) \times Cb \times Cr \times Nrb \times C \times 1000(2.7)$$

Keterangan:

- CRC (*Cyclic Redudancy Check*) = 24 bit
- Cb(*Code Bits*) : Efisiensi modulasi
- Cr(*Code Rate*) : *Channel coding rate*
- Nrb : Jumlah *resource block* yang digunakan
- C : Mode antena MIMO.

Dalam menentukan *resource block* tergantung dengan besar *bandwidth* yang digunakan pada jaringan *LTE-Advanced*. Berikut adalah tabel yang menunjukkan *bandwidth* yang digunakan terhadap nilai *resource block*.

Tabel 2.7 Hubungan RB Number dengan Bandwidth

Channel Bandwidth (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
RB Number	6	15	25	50	75	100

Sumber: (Huawei, 2013)

2.7.5 Cell Dimensioning

Jumlah sel yang dibutuhkan untuk dapat menangani trafik baik *uplink* maupun *downlink* berdasarkan perhitungan *capacity planning* dapat diperoleh dengan persamaan :

$$Jumlah\ sel_{UL/DL} = \frac{Network\ Throughput}{Kapasitas\ Sel} \dots\dots\dots(2.8)$$

Selanjutnya untuk mencari jumlah *site* yang dibutuhkan untuk perencanaan *planning by capacity* ini dapat diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Jumlah site}_{UL/DL} = \frac{\text{Jumlah cell}}{3} \dots \dots \dots (2.9)$$

2.8 Perencanaan Cakupan

Perencanaan jaringan teknologi komunikasi seluler mempertimbangkan *gain* dan *loss* dari spesifikasi perangkat. Model propagasi yang digunakan juga akan mempengaruhi hasil radius sel. Dalam perencanaan cakupan, yang pertama dilakukan adalah menghitung *link budget* yaitu untuk mengetahui nilai *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) antara *transmitter* dan *receiver*.

2.8.1 Perhitungan *Link Budget*

Perhitungan *link budget* digunakan untuk memperkirakan maksimum redaman yang diperbolehkan antara perangkat UE terhadap eNode B. *Path loss* maksimum yang dikehendaki memungkinkan kita melakukan perhitungan radius sel suatu eNode B untuk suatu lingkup radio tertentu dengan model propagasi tertentu. Perhitungan radio *link budget* membutuhkan parameter baik daya pancar, *gain antenna*, *signal-to-noise ratio*, dan lain-lain. Tujuan *link budget* adalah untuk mengidentifikasi maksimum *pathloss* atau MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) yang diijinkan antara pemancar dan penerima. Sehingga radius *cell* dapat dihitung sesuai dengan kondisi morfologinya (dense urban, urban, suburban, dan rural) berdasarkan model propagasinya. Pengukuran minimum SINR pada *uplink* (UL) dan *downlink* (DL) diterima dengan maksimum *pathloss* dan maksimum *transmit power*. Perhitungan *link budget* tergantung pada banyak faktor seperti *loss* penetrasi gedung, *loss feeder*, *gain* antena, dan interferensi radio, hal tersebut dihitung karena berakibat pada *cell coverage*. Radius *cell* pada enode B dapat diperoleh sesuai dengan MAPL dari model propagasinya. Radius *cell* dapat digunakan untuk menghitung total jumlah *site* yang diperlukan untuk menyediakan *coverage* yang sesuai dengan tujuan cakupannya (Lingga Wardhana. dkk., 2014).

a. MAPL Uplink

Untuk arah uplink *Power Receiver* digambarkan sebagai *Receiver Sensitivity (RS)* dari *User Equipment (UE)* arah *uplink*.

$$RSeNodeB = SINR + TNeNodeB + NfeNodeB \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

- RSeNodeB : *Receiver Sensitivity (dBm)*
 NFeNodeB : *Noise Figure eNodeB (dB)*
 TNeNodeB : *Thermal Noise per sub-carrier (dBm)*
 SINR : *Required Signal Interference Noise Ratio (dB)*

Sehingga akan didapatkan persamaan MSRS *uplink* sebagai berikut :

$$MSRS = RSeNodeB + Lcable + IM + GR \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

- MSRS : *Minimum Signal Reception Strenght (dBm)*
 RSeNodeB : *Receiver Sensitivity (dBm)*
 Lcable : *Loss Cable Receiver (dB)*
 IM : *Interference Margin (dB)*
 GR : *Gain Antena Receiver (dB)*

Kemudian didapat persamaan *Maximum Allowable Path Loss (MAPL)* untuk arah *uplink* berikut ini :

$$MAPLuplink = EIRPsubcarrier - MSRS - PL - SF \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

- MAPLuplink : *Maximum Allowable Path Loss uplink (dB)*
 EIRPsubcarrier : *Equivalent Isotropic Radiated Power Subcarrier (dBm)*
 MSRS : *Minimum Signal Reception Strenght (dBm)*
 PL : *Penetration Loss (dB)*
 SF : *Shadow Fading margin (dB)*

b. MAPL Downlink

Untuk arah *Downlink*, persamaan *Equivalent Isotropic Radiated Power subcarrier* sebagai berikut :

$$EIRP_{subcarrier} = P_{subcarrier} + GT - L_{cable} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

$P_{subcarrier}$: *Subcarrier power transmisi* (dBm)

GT : *gain antena transmitter* (dBi)

L_{cable} : *loss cable transmitter* (dB)

Sedangkan untuk persamaan *Receiver Sensitivity* (RS) arah *downlink* adalah sebagai berikut :

$$RS_{ue} = TN + NF_{ue} + SINR \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan:

RS_{ue} : *Receiver sensitivity* (dBm)

TN : *Thermal Noise per subcarrier* (dBm)

NF_{ue} : *Noise Figure UE* (dB)

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

Sehingga akan didapatkan persamaan MSRS *downlink* sebagai berikut :

$$MSRS = RS_{ue} + LR_{body} + IM \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

MSRS : *Minimum Signal Reception Strenght* (dBm)

RS_{ue} : *Receiver Sensitivity UE* (dBm)

LR_{body} : *Loss body Receiver* (dB)

IM : *Interference Margin* (dB)

Kemudian didapat persamaan MAPL untuk arah *downlink* berikut ini :

$$MAPL_{downlink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

$MAPL_{downlink}$: *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)

2.8.2 Perhitungan Model Propagasi Cost 231 Hatta

Perencanaan dengan frekuensi 1800 MHz untuk LTE menggunakan model propagasi Cost 231 Hatta yang bekerja pada frekuensi 1500-2000 MHz. Model Cost 231 Hatta digunakan untuk mengetahui radius sel pada wilayah urban. Persamaan yang digunakan untuk menghitung model propagasi Cost 231 Hatta sebagai berikut :

$$L_p = 46,3 + 33,9 (\log f_c) + 13,82 \log h_T - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log d - CM \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

- f : *frequency* transmisi
- h_R : tinggi antena *receiver* (m)
- d : jarak (km)
- h_T : tinggi antena *transmitter* (m)
- a : faktor koreksi tinggi antena
- CM : urban = 3 dB

2.8.3 Cell Dimensioning

Setelah diketahui nilai radius *cell* maka dilanjutkan untuk melakukan penghitungan luas sel dengan persamaan berikut ini :

$$\text{Luas sel} = 1,95 \times 2,6 \times D^2 \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

- Luas sel : *Coverage area* (km²)
- D : Radius sel (km)

Selanjutnya untuk mencari jumlah *site* yang dibutuhkan untuk perencanaan *planning by coverage* dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$\text{Jumlah site}_{UL/DL} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Luas Sel}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

- Luas Area : Luas daerah perencanaan (km²)

2.9 Software Radio Planning Atoll

Atoll merupakan sebuah *software radio planning* yang menyediakan satu set alat dan fitur yang komprehensif dan terpadu yang memungkinkan *user* untuk membuat suatu proyek perencanaan *microwave* ataupun perencanaan radio dalam satu aplikasi. Beberapa prediksi *study* dari cakupan area dapat dikonfigurasi sesuai kehendak perancang diantaranya :

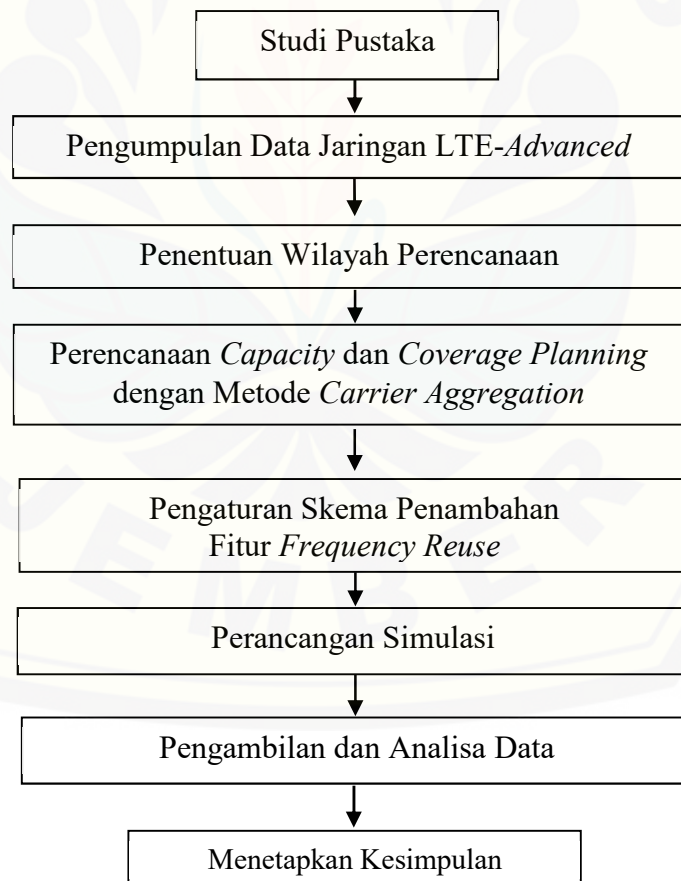
1. *Coverage by signal level* : Menghitung area yang tertutupi oleh level sinyal dari tiap sel.
2. *Coverage by C/(I+N) level (DL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh SINR *downlink*. SINR adalah perbandingan antara kuat sinyal dengan kuat interferensi ditambah *noise* yang dipancarkan oleh *cell*.
3. *Coverage by C/(I+N) level (UL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh SINR *uplink*.
4. *Coverage by throughput (DL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh *throughput downlink*.
5. *Coverage by throughput (UL)* : Menghitung area yang tertutupi oleh *throughput uplink*. (Lingga Wardhana. Dkk, 2014).

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pembahasan pada bab metode penelitian ini dijelaskan beberapa sub bab pokok yaitu tahap penelitian, tempat penelitian, metode penelitian dalam pengambilan data, perancangan sistem dalam penelitian mulai dari tahap awal perencanaan penelitian dilakukan, dan dijelaskan beberapa skenario pengambilan data untuk dapat dianalisa dan menghasilkan kesimpulan.

3.1 Tahap Penelitian

Penyusunan tugas akhir ini dimulai dengan beberapa tahapan penelitian, untuk dapat memperoleh informasi harus melalui beberapa tahapan. Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini disajikan pada gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini pertama adalah studi pustaka atau literatur dilakukan pencarian informasi baik dari buku, jurnal, maupun internet yang berkaitan dan mendukung penelitian ini, seperti pustaka tentang konsep dan pengertian LTE dan LTE-Advanced, serta literatur tentang metode yang mendukung LTE-Advanced dan perencanaan jaringan LTE-Advanced dari segi kapasitas dan cakupan serta penambahan fitur *frequency reuse*. Tahapan berikutnya yaitu menentukan lokasi yang akan dilakukan perencanaan yaitu daerah urban Kota Surabaya. Penentuan daerah tersebut dari hasil dengan pengumpulan data berupa luas wilayah dan jumlah penduduk untuk memprediksi area yang akan dirancang LTE-Advanced. Tahapan berikutnya yaitu melakukan perencanaan sistem jaringan LTE-Advanced dari segi kapasitas dan cakupan yang dilakukan dengan analisis perhitungan untuk mendapatkan perencanaan jumlah *site* yang dibutuhkan dengan metode *carrier aggregation*. Tahapan berikutnya melakukan proses pengaturan skema penambahan fitur *frequency reuse* untuk diketahui pengaruhnya fitur *frequency reuse* yang digunakan ada dua yaitu *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse*. Tahapan selanjutnya yaitu perancangan simulasi untuk merencanakan jaringan LTE-Advanced dalam tugas akhir ini. Adapun perancangan simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* Atoll dan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk perancangan berdasarkan kapasitas dan cakupan dengan metode *carrier aggregation*. Tahap selanjutnya analisa data dan pembahasan terkait perencanaan jaringan LTE-Advanced berdasarkan kapasitas dan cakupan metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* dari simulasi dan hasil perhitungan. Tahapan akhir dalam penelitian yaitu memperoleh kesimpulan berdasarkan hasil simulasi dengan *software* Atoll yang telah dilakukan.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini tentang “Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced dengan Metode *Carrier Aggregation* dan Penambahan Fitur *Frequency Reuse*” ini akan dilakukan di wilayah urban Kota Surabaya.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian “Analisis Perencanaan Jaringan LTE-Advanced dengan Metode Carrier Aggregation dan Penambahan Fitur Frequency Reuse di Kota Surabaya” dilakukan melalui studi pustaka yang mendukung penelitian, seperti pengertian dan konsep *Long Term Evolution Advanced*, Arsitektur teknologi jaringan LTE, Spesifikasi dan standart LTE-Advanced, serta konsep perencanaan dengan kapasitas dan cakupan. Dilakukan perencanaan dengan metode *carrier aggregation* untuk dapat pemeratakan seluruh area dengan optimal dan menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan. Metode selanjutnya dilakukan simulasi dan penambahan fitur *frequency reuse* yaitu *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* selanjutnya diambil kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan.

3.4 Data Existing

Data *existing* merupakan data seluler yang sudah ada dan dimiliki oleh setiap provider atau penyedia layanan komunikasi seluler. Data *existing* untuk perencanaan jaringan seluler di wilayah urban Kota Surabaya diketahui dari beberapa jurnal penelitian dan dari salah satu provider tertentu diantaranya jumlah *site* diketahui untuk wilayah urban Kota Surabaya untuk jaringan LTE terdapat sebanyak 32 *site*.

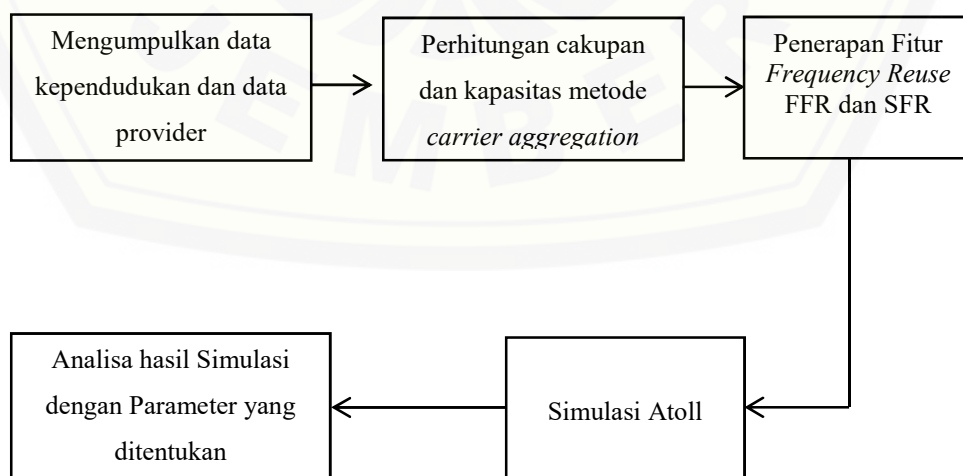


Gambar 3.2 *Site Existing* Wilayah Urban Kota Surabaya

Data *existing* yang dimiliki salah satu *provider* di wilayah Surabaya menunjukkan bahwa jaringan LTE sudah tidak mampu lagi untuk menyediakan layanan dengan kualitas yang tinggi. Pengambilan data yang dimiliki salah satu provider X di Kota Surabaya untuk jaringan LTE oleh *open signal* pada bulan desember 2018 menunjukkan nilai kecepatan pengunduhan sebesar 4,59 Mbps, kecepatan pengunggahan sebesar 4,75 Mbps, nilai *latency* 59,47 ms dan ketersediaan jaringan LTE sebesar 82,21 % semua nilai tersebut adalah nilai yang terburuk dibandingkan dengan provider lain (*Open Signal, 2018*), untuk itu perlu adanya pengembangan jaringan LTE di wilayah urban kota Surabaya yaitu ditingkatkan menjadi *LTE-Advanced*. *LTE-Advanced* sendiri dapat dilakukan dengan metode *carrier aggregation* dan penambahan antenna MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), namun dalam perencanaan sebuah jaringan perlu dianalisis juga mengenai interferensi yang ditimbulkan antar *site* untuk itu penambahan fitur *frequency reuse* sebagai manajemen interferensi khususnya *co-channel interference* dapat dimaksimalkan dengan baik.

3.5 Perancangan Sistem

Dalam metodologi penelitian ini dijelaskan mengenai hal pokok yang akan dibahas dalam bentuk *flowchart* berupa langkah penelitian yaitu langkah perencanaan dan langkah simulasi, namun sebelum itu pertama akan dijelaskan secara garis besar melalui digram blok sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan blok diagram diatas dapat diketahui langkah pertama pada penelitian yaitu mengumpulkan data kependudukan daerah yang akan dilakukan perencanaan yaitu kota Surabaya, serta data *provider* yang digunakan untuk perhitungan *link budget*. Berikut ini adalah tabel data kependudukan wilayah urban Kota Surabaya dan data *provider* yang didapat dari salah satu operator seluler di Indonesia dapat dilihat pada tabel 3.1, tabel 3.2 dan tabel 3.3.

Tabel 3.1 Data Kependudukan Wilayah Urban Kota Surabaya

No	Kecamatan	Luas Wilayah (km ²)	Jumlah Penduduk
1.	Tegalsari	4,29	118.032
2.	Genteng	4,05	68.162
3.	Bubutan	3,86	117.630
4.	Simokerto	2,59	110.974
5.	Pabean Cantian	6,8	93.621
6.	Semampir	8,76	215.255
7.	Krembangan	8,34	136.512
8.	Kenjeran	7,77	173.832
9.	Tambaksari	8,99	253.522
10.	Gubeng	7,99	155.869
11.	Rungkut	21,08	121.708
12.	Tenggilis Mejoyo	5,52	62.737
13.	Mulyorejo	14,21	95.034
14.	Sawahan	6,93	234.157
15.	Wonokromo	8,47	190.719
16.	Karangpilang	9,23	81.948
17.	Wonocolo	6,77	91.145
18.	Gayungan	6,07	52.654
19.	Jambangan	4,19	55.218
20.	Tandes	11,07	101.968
21.	Sukomanunggal	9,23	111.999
Jumlah		166,21 km²	2.642.696

Sumber: (BPS Kota Surabaya, 2018)

Tabel 3.2 Parameter *Link Budget* Arah *Uplink*

Parameter	Symbol
Tx (User Equipment)	
Tx Power	A
Subcarrier to distribute power	B
Subcarrier power	$C=A-10*\log(B)$
Tx Body Loss	D
EIRP per Subcarrier	$E=C-D$
Rx (eNode B)	
Thermal Noise per Subcarrier	F
SINR	G
Rx Noise Figure	H
Receiver Sensitivity	$I=F+G+H$
Rx Antenna Gain	J
Rx Cable Loss	K
Interference Margin	L
Minimum Signal Reception Strenght	$M=I-J+K+L$
Path Loss dan Shadow Margin	
Penetration Loss	N
Shadow Fading Margin	O
Path Loss	$P=F-M-N-O$

Sumber: (Data Provider, 2018)

Tabel 3.3 Parameter *Link Budget* Arah *Downlink*

Parameter	Symbol
Tx (eNode B)	
Tx Power	A
Subcarrier to distribute power	B
Subcarrier power	$C=A-10*\log(B)$
Tx Antenna Gain	D
Tx Cable Loss	E
EIRP per Subcarrier	$F=C+D-E$
Rx (User Equipment)	
Thermal Noise per Subcarrier	G
SINR	H
Rx Noise Figure	I
Receiver Sensitivity	$J=G+H+I$
Rx Body Loss	K
Interference Margin	L
Minimum Signal Reception Strenght	$M=J+K+L$
Path Loss dan Shadow Margin	
Penetration Loss	N
Shadow Fading Margin	O
Path Loss	$P=F-M-N-O$

Sumber: (Data Provider, 2018)

Setelah memperoleh data *provider* kemudian melakukan perhitungan cakupan dan kapasitas dengan metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* untuk menentukan jumlah *site* yang dibutuhkan seoptimal mungkin. Perhitungan kapasitas meliputi estimasi jumlah pelanggan, *throughput* layanan, *single user* dan *network throughput* serta kapasitas sel. Selanjutnya pada perhitungan cakupan meliputi perhitungan *link budget*, untuk mengetahui nilai *pathloss* dari sisi *uplink* maupun *downlink*, setelah memperoleh nilai *pathloss* lalu menghitung nilai radius sel yang didapatkan dari perhitungan model propagasi. Pada penelitian ini menggunakan model propagasi Cost 231 Hata. Dari nilai jarak sel, kemudian akan dilakukan untuk perhitungan luas cakupan sel dan kemudian akan diperoleh jumlah *site*. Mensimulasikan hasil dari perhitungan dengan Atoll dari awal perencanaan kapasitas dan cakupan. Kemudian membandingkan hasil perhitungan dengan rancangan pada simulasi dengan keluaran jumlah *site* pada daerah yang dianalisis, perencanaan jaringan ini dari metode dan tambahan fitur *fractional frequency reuse* serta *soft frequency reuse* tersebut untuk membandingkan antara ketiganya dan disimulasikan dengan parameter *Signal Level*, *CINR* dan *Throughput*.

3.6 Skenario *Plotting Site*

Plotting site yang akan dilakukan dibagi menjadi tiga yaitu *carrier aggregation deployment scenario 3*, skema *fractional frequency reuse* dan skema *soft frequency reuse*. *Plotting site* ini dilakukan untuk pengaturan pada masing-masing skema pada metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse*.

3.6.1 *Carrier Aggregation Deployment Scenario 3*

Pada simulasi *carrier aggregation deployment scenario 3*, terdapat dua buah *band* frekuensi yaitu *primary cell* dan *secondary cell*. Frekuensi 1800 MHz mode FDD digunakan sebagai *primary cell* karena memiliki jangkauan *coverage* yang lebih besar dan frekuensi 900 MHz mode FDD sebagai *secondary cell*. Namun pada *carrier aggregation deployment scenario 3* terdapat nilai *azimuth* pada setiap antena *primary cell* dan *secondary cell* yang berbeda. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut ini:

Tabel 3.4 Pengaturan *Azimuth Antenna primary cell* dan *secondary cell*

<i>Primary Cell Frekuensi 1800 MHz</i>	<i>Secondary Cell Frekuensi 900 MHz</i>
0°	60°
120°	180°
240°	300°

Sumber: (Ayu Tika Permatasari, dkk., 2016)

Plotting site untuk skema *carrier aggregation deployment scenario 3* (CADS3) menggunakan jumlah *site* berdasarkan perhitungan *planning by capacity* dengan kapasitas sel yang sudah diintegrasikan antara *primary cell* dan *secondary cell*.

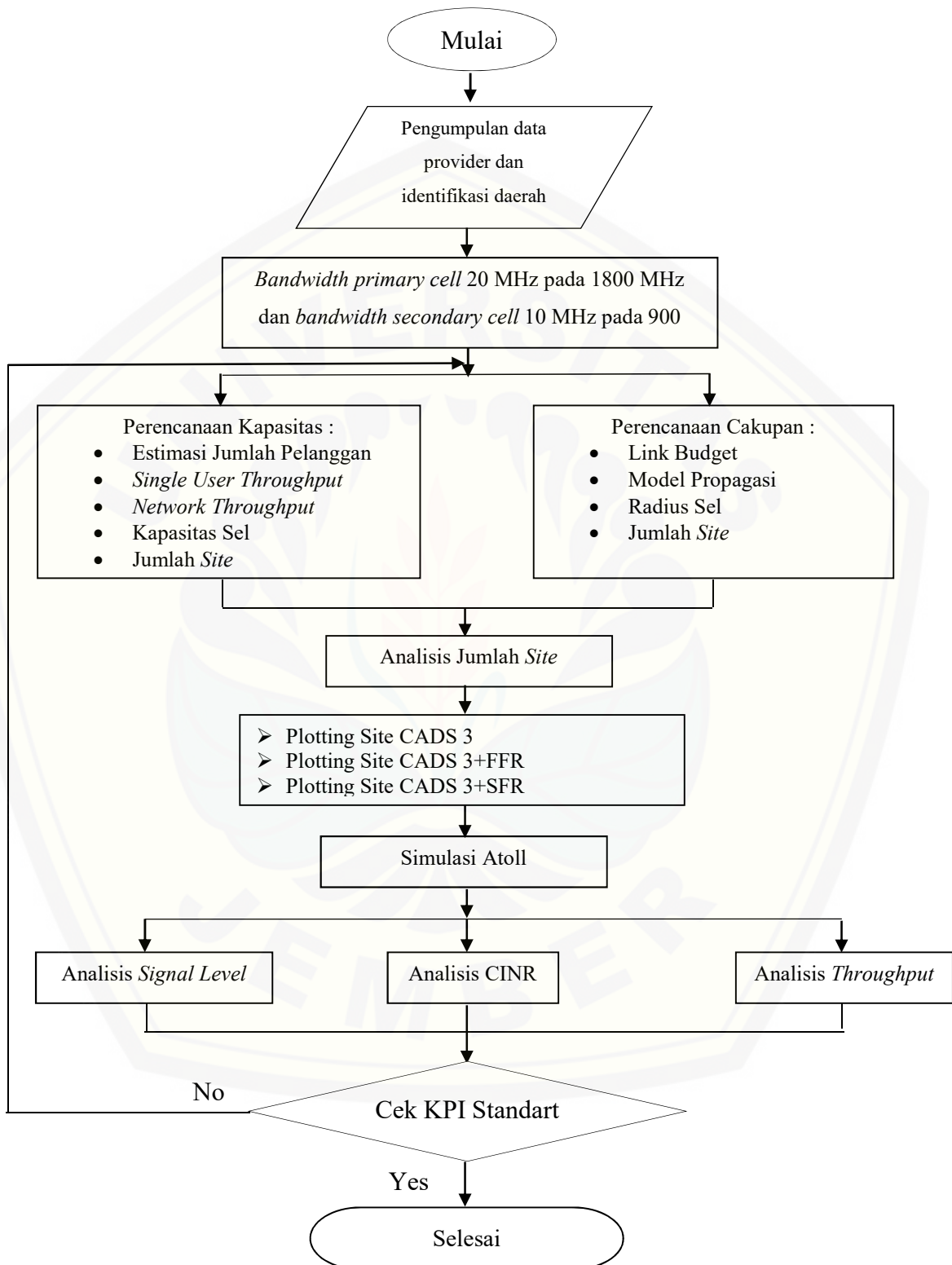
3.6.2 Skema *Fractional Frequency Reuse*

Skema *fractional frequency reuse* (FFR) adalah skema tambahan untuk *carrier aggregation deployment scenario 3* skema ini digunakan untuk mengatasi *co-channel interference*, skema ini merupakan salah satu diantara dari skema manajemen interferensi. Skema ini pada setiap sel dibagi menjadi dua daerah diantaranya *cell centre* dan *cell edge*. Untuk skenario ini diatur nilai *cell centre* sebesar 5 MHz dan nilai *cell edge* sebesar 5 MHz pada frekuensi *primary cell* 1800 MHz. Sedangkan pada frekuensi *secondary cell* 900 MHz diatur nilai *cell centre* sebesar 3 MHz dan *cell edge* sebesar 3 MHz. *Plotting site* untuk skema *fractional frequency reuse* (FFR) menggunakan jumlah *site* dari hasil perhitungan *planning by capacity*.

3.6.3 Skema *Soft Frequency Reuse*

Skema *soft frequency reuse* (SFR) adalah skema tambahan untuk *carrier aggregation deployment scenario 3* yang kedua, hampir sama dengan skema *fractional frequency reuse* skema ini digunakan untuk mengatasi *co-channel interference*. Skema ini pada setiap sel juga dibagi menjadi dua daerah diantaranya *cell centre* dan *cell edge*. Untuk skenario ini diatur nilai *cell centre* sebesar 15 MHz dan nilai *cell edge* sebesar 5 MHz pada frekuensi *primary cell* 1800 MHz. Sedangkan pada frekuensi *secondary cell* 900 MHz diatur nilai *cell centre* sebesar 7 MHz dan *cell edge* sebesar 3 MHz. *Plotting site* pada skema ini sama dengan skema *fractional frequency reuse* (FFR) yaitu, menggunakan jumlah *site* dari hasil perhitungan *planning by capacity*.

3.7 Perencanaan Simulasi



Gambar 3.4 Flowchart Perencanaan Simulasi

Berdasarkan *flowchart* diatas untuk melakukan perencanaan dimulai dengan tahapan pertama yang dilakukan pengumpulan berdasarkan data yaitu menentukan data daerah yang dilakukan perencanaan berdasarkan morfologinya serta data *provider* spesifikasi peralatan yang digunakan. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan berdasarkan kapasitas dan cakupan dalam perencanaan LTE-Advanced dengan *bandwidth primary* 20 MHz pada frekuensi 1800 MHz mode FDD dan *bandwidth secondary* 10 MHz pada frekuensi 900 MHz mode FDD. Parameter perhitungan berdasarkan kapasitas yaitu estimasi jumlah pelanggan, *single user throughput*, *network throughput*, kapasitas sel, dan jumlah *site*. Sedangkan parameter perhitungan berdasarkan cakupan yaitu *link budget*, model propagasi, radius sel, dan jumlah *site*. Setelah semua perhitungan dilakukan, maka pada perencanaan awal dari segi kapasitas dan cakupan masing-masing akan didapat jumlah *site*. Jumlah *site* pada perencanaan ini menjadi acuan daerah yang akan dirancang jaringan LTE tahap awal dan diambil adalah jumlah *site* maksimum. Kemudian dilakukan *plotting site* dari ketiga data yang akan dibandingkan yaitu *carrier aggregation deployment scenario 3*, *carrier aggregation deployment scenario 3 with fractional frequency reuse* dan *carrier aggregation deployment scenario 3 with Soft frequency reuse*. Berikutnya melakukan proses simulasi analisis dari beberapa parameter yaitu *signal level*, CINR dan *Throughput*. Dari parameter tersebut akan memunculkan nilai-nilainya sesuai dengan standart KPI (*Key Performance Indicator*) vendor Huawei dalam bentuk histogram. Apabila hasil sudah sesuai dengan standar KPI vendor Huawei maka penelitian dianggap sudah memenuhi standar yang ada, apabila belum memenuhi maka dilakukan perhitungan dan simulasi sampai mendapatkan nilai yang memenuhi standar tersebut.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Perencanaan LTE-Advanced di wilayah urban Kota Surabaya dengan metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* menyediakan kapasitas sel arah *downlink* dengan skema *carrier aggregation deployment scenario 3* sebesar 216,00 Mbps, untuk skema *carrier aggregation deployment scenario 3 with fractional frequency reuse* sebesar 138,00 Mbps, sedangkan untuk skema *carrier aggregation deployment scenario 3 with soft frequency reuse* sebesar 236,00 Mbps. Untuk memaksimalkan cakupan di wilayah urban Kota Surabaya dengan model propagasi Cost 231 Hatta menghasilkan radius sel arah *downlink* sejauh 1,24 Km.
2. Metode *carrier aggregation* dan penambahan fitur *frequency reuse* memberikan pengaruh yang berbeda pada setiap skema. Jumlah *site* dengan skema CADS3 menghasilkan jumlah *site* sebanyak 21 *site*, untuk skema CADS3+FFR menghasilkan jumlah *site* sebanyak 32 *site*, sedangkan untuk skema CADS3+SFR menghasilkan jumlah *site* sebanyak 18 *site*. Dari segi *signal level*, untuk skema CADS3 nilai rata-rata *signal level* sebesar -87,54 dBm, pada skema CADS3+FFR nilai rata-rata *signal level* sebesar -85,4 dBm dan pada skema CADS3+SFR nilai rata-rata *signal level* sebesar -86,73 dBm lebih rendah dibanding skema lain perbedaan *signal level* tersebut dipengaruhi oleh jumlah *site*. Dari segi CINR *level* untuk skema CADS3 nilai rata-rata CINR *level* sebesar 3,65 dB dalam kategori tidak memenuhi standar KPI vendor Huawei karena ≤ 5 dB, pada skema CADS3+FFR nilai rata-rata CINR *level* sebesar 14,24 dB dan pada skema CADS3+SFR nilai rata-rata CINR *level* sebesar 25,65 dB terjadi perbedaan CINR *level* antara skema tanpa penambahan fitur *frequency reuse* dan skema dengan penambahan fitur *frequency reuse* dikarenakan fitur *frequency reuse* ini digunakan untuk meminimalisir *co-channel interference* atau interferensi antar *site*. Sedangkan

dari segi *throughput* skema rata-rata nilai *throughput* yang paling baik adalah pada skema CADSS3+SFR dengan nilai rata-rata *throughput* 72,45 Mbps, sedangkan skema CADSS3+FFR nilai rata-rata *throughput* sebesar 21,47 Mbps dan pada skema CADSS 3 atau skema yang tidak menggunakan fitur *frequency reuse* nilai rata-rata *throughput* sebesar 17,99 Mbps dari ketiga skema tersebut nilai *throughput* dalam keadaan cukup baik.

3. Untuk Perencanaan di wilayah urban Kota Surabaya skema yang sangat tepat untuk diterapkan di daerah tersebut adalah skema *carrier aggregation deployment scenario 3 with soft frequency reuse* (CADSS3+SFR) dikarenakan dari segi jumlah *site* adalah yang paling sedikit yaitu 18 *site* dan dari segi nilai CINR serta nilai *throughput* adalah nilai yang paling baik diantara skema yang lain dan mampu mencakup seluruh luas wilayah urban Kota Surabaya yaitu 166,21 km².

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, penulis menyarankan beberapa hal agar penelitian ini dapat dikembangkan dan lebih bermanfaat. Adapun beberapa saran dari penulis adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan metode *carrier aggregation* dengan *bandwidth* dan pita frekuensi yang berbeda dan mengkombinasikan jumlah *component carrier* lebih dari dua, serta diteliti pengaruh penggunaan antena MIMO.
2. Melakukan penelitian menggunakan *software* Atoll terbaru yang mampu mengkombinasikan *component carrier* lebih dari dua atau menggunakan *software* yang berbeda seperti Nec dan Genex Unet.

DAFTAR PUSTAKA

- Mallikarjun Dheshmuk & Priti. S. Pavale. 2013. *Carrier Aggregation for High Speed Data in LTE Advanced System*. India: Department of Telecommunication, Dayananda Sagar College of Engineering.
- Reinikainen, Antti., dkk, 2015. *Performance Evaluation of LTE-Advanced Carrier Aggregation*. Espoo: Aalto University school of electrical engineering.
- Tika, Ayu., Hafidudin A.md, S.T, M.T, dan Linda Meylani S.T, M.T. 2015. *Analisis Perencanaan LTE Advanced Menggunakan Metode Fractional Frequency Reuse Dan Fitur Carrier Aggregation Di DKI Jakarta*. Bandung: Universitas Telkom.
- Winata, Dharma., Ir. Uke Kurniawan Usman, M.T, dan Linda Meylani, S.T., M.T. 2016. *Analisis Perencanaan LTE-Advanced Dengan Metoda Carrier Aggregation Inter-Band Non-Contiguous Dan Intra-Band Non- Contiguous Di Kota Bandar Lampung*. Bandung: Universitas Telkom.
- Hamdah, Radiah ., Hafidudin, AMd.,S.T., M.T., Linda Meylani, S.T., M.T. 2016. *Analisis Performansi Penerapan Carrier Aggregation Dengan Perbandingan Skenario Secondary Cell Pada Perancangan Jaringan LTE-Advanced Di DKI Jakarta*. Bandung: Universitas Telkom.
- Gill, Brendan.2018. *Kabar Terbaru Jaringan Seluler: Indonesia (Desember 2018)*. <https://opensignal.com/in/reports/2018/12/indonesia/mobile-networks-update> [Diakses pada tanggal 24 Desember 2018].
- Huawei. (2013). *LTE Radio Network Capacity Dimensioning and Coverage Dimensioning*. Huawei Technologies Co.
- Huawei. (2013). *LTE KPI GUIDE & MEASURE METHODE*. Huawei LTE *Radio Network Planning (RNP)*.
- Usman, Uke Kurniawan., dkk. 2012. *Fundamental Teknologi Seluler LTE*. Bandung: Rekayasa Sains.

- Wardhana, Lingga., dkk. 2014. *4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia Jilid 1*.
Jakarta Selatan: www.nulisbuku.com.
- Wardhana, Lingga., dkk. 2014. *4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia Jilid 2*.
Jakarta Selatan: www.nulisbuku.com.
- Miller, Larry., dkk. 2016. *Carrier Aggregation Fundamentals For Dummies qorvo edition. United States of America*: John Wiley & Sons, Inc.



LAMPIRAN

1. Range Frekuensi yang digunakan

Tabel 1 Range frekuensi

Band	3GPP Name	Total Spectrum	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
Band 3	1800 MHz	2 x 75 MHz	1710-1785	1805-1880
Band 8	900 MHz	2 x 35 MHz	880-915	925-960

Sumber: (Usman,U.K, dkk, 2011)

2. Perhitungan Estimasi Jumlah Pelanggan

$$U_n = U_o(1 + f_p)^n$$

Jumlah penduduk prediksi = U_n

Jumlah penduduk pada tahun perencanaan (U_o) = 2.642.696 jiwa

Faktor pertumbuhan (f_p) = 3%

Jumlah tahun prediksi = 5 tahun

$$U_n = 2.642.696(1 + 3\%)^5$$

$$U_n = 3.063.609 \text{ jiwa}$$

$$EJP = U_n \times Pjpp \times MS \times PPuser$$

Jumlah penduduk hasil prediksi (U_n) = 3.063.609 jiwa

Persentase penduduk produktif ($Pjpp$) = 80%

Persentase Market Share (MS) = 50%

Persentase penetrasi jumlah pengguna ($PPuser$) = 30%

$$EJP = 3.063.609 \times 80\% \times 50\% \times 30\%$$

$$EJP = 367.633 \text{ jiwa}$$

3. Perhitungan *Throughput* per *session* pada masing-masing parameter

a. *Throughput* per *session* arah *uplink*

- $\text{Throughput VoIP} = \text{session time} \times \text{session ratio} \times \text{Berrrer rate} \left[\frac{1}{(1-\text{BLER})} \right]$

$$= 26,9 \times 80 \times 0,4 \times \left[\frac{1}{(1-1\%)} \right]$$

$$= 869,4949 \text{ Kbit}$$

- $\text{Throughput video phone} = \text{session time} \times \text{session ratio} \times \text{Berrrer rate} \left[\frac{1}{(1-\text{BLER})} \right]$

$$= 70 \times 1 \times 62,53 \left[\frac{1}{(1-1\%)} \right]$$

$$= 4421,3131 \text{ Kbit}$$

- $\text{Throughput video conf} = \text{session time} \times \text{session ratio} \times \text{Berrrer rate} \left[\frac{1}{(1-\text{BLER})} \right]$

$$= 1800 \times 1 \times 62,53 \left[\frac{1}{(1-1\%)} \right]$$

$$= 113690,9091 \text{ Kbit}$$

- $\text{Throughput Real Time} = \text{session time} \times \text{session ratio} \times \text{Berrrer rate} \left[\frac{1}{(1-\text{BLER})} \right]$

$$= 1800 \times 0,2 \times 31,26 \left[\frac{1}{(1-1\%)} \right]$$

$$= 11367,2727 \text{ Kbit}$$

- $\text{Throughput Streaming} = \text{session time} \times \text{session ratio} \times \text{Berrrer rate} \left[\frac{1}{(1-\text{BLER})} \right]$

$$= 3600 \times 0,05 \times 31,26 \left[\frac{1}{(1-1\%)} \right]$$

$$= 5683,6364 \text{ Kbit}$$

- $\text{Throughput Signaling} = \text{session time} \times \text{session ratio} \times \text{Berrrer rate} \left[\frac{1}{(1-\text{BLER})} \right]$

$$= 7 \times 0,2 \times 15,63 \left[\frac{1}{(1-1\%)} \right]$$

$$= 22,1030 \text{ Kbit}$$

- *Throughput Browsing* = *session time x session ratio x Bearer rate* $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$
 $= 1800 \times 0,05 \times 62,53 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$
 $= 5684,5455 \text{ Kbit}$

- *Throughput FTP* = *session time x session ratio x Bearer rate* $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$
 $= 600 \times 1 \times 140,69 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$
 $= 85266,6667 \text{ Kbit}$

- *Throughput Email* = *session time x session ratio x Bearer rate* $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$
 $= 50 \times 1 \times 140,69 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$
 $= 7105,5556 \text{ Kbit}$

- *Throughput P2PSharing* = *session time x session ratio x Bearer rate* $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$
 $= 1200 \times 1 \times 250,11 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$
 $= 303163,6364 \text{ Kbit}$

b. *Throughput per session arah downlink*

- *Throughput VoIP* = *session time x session ratio x Bearer rate* $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$
 $= 26,9 \times 80 \times 0,4 \times \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$
 $= 869,4949 \text{ Kbit}$

- *Throughput video phone* = *session time x session ratio x Bearer rate* $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$
 $= 70 \times 1 \times 62,53 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$
 $= 4421,3131 \text{ Kbit}$

- *Throughput video conf* = *session time x session ratio x Bearer rate* $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$
 $= 1800 \times 1 \times 62,53 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$
 $= 113690,9091 \text{ Kbit}$

- *Throughput Real Time* = session time x session ratio x Bearer rate $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$

$$= 1800 \times 0,4 \times 125,06 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$$

$$= 90952,7273 \text{ Kbit}$$
- *Throughput Streaming* = session time x session ratio x Bearer rate $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$

$$= 3600 \times 0,95 \times 250,11 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$$

$$= 864016,3636 \text{ Kbit}$$
- *Throughput Signaling* = session time x session ratio x Bearer rate $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$

$$= 7 \times 0,2 \times 15,63 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$$

$$= 22,1030 \text{ Kbit}$$
- *Throughput Browsing* = session time x session ratio x Bearer rate $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$

$$= 1800 \times 0,05 \times 250,11 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$$

$$= 22737,2727 \text{ Kbit}$$
- *Throughput FTP* = session time x session ratio x Bearer rate $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$

$$= 600 \times 1 \times 750,34 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$$

$$= 454751,5152 \text{ Kbit}$$
- *Throughput Email* = session time x session ratio x Bearer rate $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$

$$= 15 \times 1 \times 750,34 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$$

$$= 11368,7879 \text{ Kbit}$$
- *Throughput P2PSharing* = session time x session ratio x Bearer rate $\left[\frac{1}{(1-BLER)}\right]$

$$= 1200 \times 1 \times 750,34 \left[\frac{1}{(1-1\%)}\right]$$

$$= 909503,0303 \text{ Kbit}$$

2. Perhitungan *Single User Throughput* pada masing-masing parameter

a. *Single User Throughput* arah *uplink*

- SUT VoIP
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 869,4949 \times 1,3 \times 100\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 1356,41220 \text{ Kbit}$$

- SUT Video phone
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 4421,3131 \times 0,16 \times 20\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 169,7784 \text{ Kbit}$$

- SUT Video Conf
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 113690,9091 \times 0,15 \times 15\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 3069,6545 \text{ Kbit}$$

- SUT Real Time
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 11367,2727 \times 0,2 \times 20\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 545,6291 \text{ Kbit}$$

- SUT Streaming
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 5683,6364 \times 0,15 \times 15\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 153,4582 \text{ Kbit}$$

- SUT Signaling
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 22,1030 \times 4 \times 30\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 31,8284 \text{ Kbit}$$

- SUT Browsing
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 5684,6364 \times 4 \times 100\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 2728,5818 \text{ Kbit}$$

- SUT FTP
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 85266,6667 \times 0,2 \times 20\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 4092,8000 \text{ Kbit}$$

- SUT *Email*
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 7105,5556 \times 0,3 \times 10\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 255,8000 \text{ Kbit}$$

- SUT P2P *Sharing*
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 303163,6364 \times 0,3 \times 20\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 21827,7818 \text{ Kbit}$$

b. *Single User Throughput* arah downlink

- SUT VoIP
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 869,4949 \times 1,3 \times 100\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 1356,41220 \text{ Kbit}$$

- SUT Video *phone*
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 4421,3131 \times 0,16 \times 20\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 169,7784 \text{ Kbit}$$

- SUT Video *Conf*
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 113690,9091 \times 0,15 \times 15\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 3069,6545 \text{ Kbit}$$

- SUT *Real Time*
$$= \left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}) \right)$$

$$= 90952,7273 \times 0,2 \times 20\% \times (1 + 20\%)$$

$$= 4365,7309 \text{ Kbit}$$

- SUT *Streaming* $= (\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}))$
 $= 864016.3636 \times 0.15 \times 15\% \times (1 + 20\%)$
 $= 23328.4418 \text{ Kbit}$
- SUT *Signaling* $= (\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}))$
 $= 22,1030 \times 4 \times 30\% \times (1 + 20\%)$
 $= 31,8284 \text{ kbit}$
- SUT *Browsing* $= (\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}))$
 $= 22737,2727 \times 0,4 \times 100\% \times (1 + 20\%)$
 $= 10913,8909 \text{ Kbit}$
- SUT *FTP* $= (\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}))$
 $= 454751,5152 \times 0,2 \times 20\% \times (1 + 20\%)$
 $= 21828,0727 \text{ Kbit}$
- SUT *Email* $= (\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}))$
 $= 11368,7879 \times 0,3 \times 10\% \times (1 + 20\%)$
 $= 409,2764 \text{ Kbit}$
- SUT *P2P Sharing* $= (\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR}))$
 $= 909503,0303 \times 0,3 \times 20\% \times (1 + 20\%)$
 $= 65484,2182 \text{ Kbit}$

$$\text{SUT busy hour} = \sum \frac{\text{total Single User Throughput tiap trafik}}{3600}$$

- Sisi *uplink single user throughput busy hour*

$$\begin{aligned} \text{SUT busy hour} &= \sum \frac{34231.7242}{3600} \\ &= 9,5088 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

- Sisi *downlink single user throughput busy hour*

$$\begin{aligned} SUT \text{ busy hour} &= \sum \frac{130957.3042}{3600} \\ &= 36,3770 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

3. Perhitungan *Network Throughput*

$$Network \ Throughput_{ul/DL} = Total \ Target \ User \times SUT$$

- a. Nilai *Network Throughput* untuk sisi *uplink*

$$\begin{aligned} Network \ Throughput \ uplink &= Total \ Target \ User \times SUT \ uplink \\ &= (367633 \times 9,5088 \times 10^{-3}) \\ &= 3495,752 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- b. Nilai *Network Throughput* untuk sisi *downlink*

$$\begin{aligned} Network \ Throughput \ downlink &= Total \ Target \ User \times SUT \ downlink \\ &= (367633 \times 36,3770 \times 10^{-3}) \\ &= 13373,396 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Kapasitas Sel

$$Kapasitas \ Sel \ UL + CRC = (168 - 24) \times Cb \times Cr \times Nrb \times C \times 1000$$

$$Kapasitas \ Sel \ DL + CRC = (168 - 36 - 12) \times Cb \times Cr \times Nrb \times C \times 1000$$

Tabel 2 Standar SINR Minimum *Adaptive modulation and Coding*

MCS	Code Bits	Code Rate	SINR (min) (dB)
QPSK 1/3	2	0,33	-0,75
QPSK 1/2	2	0,5	1,50
QPSK 2/3	2	0,67	3,50
16QAM 1/2	4	0,5	7,00
16QAM 2/3	4	0,67	9,50
16QAM 4/5	4	0,8	11,50
64QAM 1/2	6	0,5	11,50
64QAM 2/3	6	0,67	14,7

Sumber: (Usman,U.K, dkk, 2011)

a. Kapasitas sel skema *Carrier Aggregation Deployment Scenario 3*

- Kapasitas sel untuk arah *Uplink*

$$\text{Kapasitas Sel UL} + \text{CRC} = (168 - 24) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel UL} + 24 = (168 - 24) \times 4 \times 1/2 \times 150 \times 4 \times 1000$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Sel UL} &= 172799976 \text{ bps} = 172799,976 \text{ Kbps} \\ &= 173,00 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- Kapasitas sel untuk arah *Downlink*

$$\text{Kapasitas Sel DL} + \text{CRC} = (168 - 36 - 12) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel DL} + 24 = (168 - 36 - 12) \times 6 \times 1/2 \times 150 \times 4 \times 1000$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Sel DL} &= 215999976 \text{ bps} = 215999,976 \text{ Kbps} \\ &= 216,00 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

b. Kapasitas sel skema *Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Fractional Frequency Reuse*

- Kapasitas sel untuk arah *Uplink*

$$\text{Kapasitas Sel UL} + \text{CRC} = (168 - 24) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel UL (Cell Center)} + 24 = (168 - 24) \times 4 \times 2/3 \times 40 \times 4 \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel UL (Cell Edge)} + 24 = \frac{(168 - 24) \times 4 \times 2/3 \times 40 \times 4 \times 1000}{2} +$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Sel UL} &= 110591952 \text{ bps} = 110591,952 \text{ Kbps} \\ &= 111,00 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- Kapasitas sel untuk arah *Downlink*

$$\text{Kapasitas Sel DL} + \text{CRC} = (168 - 36 - 12) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel DL (Cell Center)} + 24 = (120) \times 6 \times 2/3 \times 40 \times 4 \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel DL (Cell Edge)} + 24 = \frac{(120) \times 6 \times 2/3 \times 40 \times 4 \times 1000}{2} +$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Sel DL} &= 138239952 \text{ bps} = 138239,952 \text{ Kbps} \\ &= 138,00 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

c. Kapasitas sel skema *Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Soft Frequency Reuse*

- Kapasitas sel untuk arah *Uplink*

$$\text{Kapasitas Sel UL} + \text{CRC} = (168 - 24) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel UL (Cell Center)} + 24 = (168 - 24) \times 4 \times 2/3 \times 110 \times 4 \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel UL (Cell Edge)} + 24 = \frac{(168 - 24) \times 4 \times 2/3 \times 40 \times 4 \times 1000}{3} +$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Sel UL} &= 207359952 \text{ bps} = 207359,952 \text{ Kbps} \\ &= 207,00 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

- Kapasitas sel untuk arah *Downlink*

$$\text{Kapasitas Sel DL} + \text{CRC} = (168 - 36 - 12) \times C_b \times C_r \times N_{rb} \times C \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel DL (Cell Center)} + 24 = (120) \times 6 \times 2/3 \times 110 \times 4 \times 1000$$

$$\text{Kapasitas Sel DL (Cell Edge)} + 24 = \frac{(120) \times 6 \times 2/3 \times 40 \times 4 \times 1000}{3} +$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Sel DL} &= 236159952 \text{ bps} = 236159,952 \text{ Kbps} \\ &= 236,00 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Jumlah Sel dan *Site planning by capacity*

$$\text{Jumlah sel}_{UL/DL} = \frac{\text{Network Throughput}}{\text{Kapasitas Sel}}$$

$$\text{Jumlah site}_{UL/DL} = \frac{\text{Jumlah cell}}{3}$$

a. *Cell Dimensioning Carrier Aggregation Deployment Scenario 3*

- Jumlah sel arah *uplink*

$$\text{Jumlah sel}_{UL} = \frac{3495,752}{173,00} = 20,20$$

- Jumlah sel arah *downlink*

$$\text{Jumlah sel}_{DL} = \frac{13373,396}{216,00} = 62,00$$

- Jumlah *site* arah *uplink*

$$\text{Jumlah site}_{UL} = \frac{20,20}{3} = 7$$

- Jumlah *site* arah *downlink*

$$\text{Jumlah site}_{DL} = \frac{62,00}{3} = 21$$

b. *Cell Dimensioning Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Fractional Frequency Reuse*

- Jumlah sel arah *uplink*

$$\text{Jumlah sel}_{UL} = \frac{3495,752}{111,00} = 31.4$$

- Jumlah sel arah *downlink*

$$\text{Jumlah sel}_{DL} = \frac{13373,396}{138,00} = 96.9$$

- Jumlah *site* arah *uplink*

$$\text{Jumlah site}_{UL} = \frac{31,4}{3} = 10$$

- Jumlah *site* arah *downlink*

$$\text{Jumlah site}_{DL} = \frac{96,9}{3} = 32$$

c. *Cell Dimensioning Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Soft Frequency Reuse*

- Jumlah sel arah *uplink*

$$\text{Jumlah sel}_{UL} = \frac{3495,752}{207,00} = 16.88$$

- Jumlah sel arah *downlink*

$$\text{Jumlah sel}_{DL} = \frac{13373,396}{236,00} = 56.6$$

- Jumlah *site* arah *uplink*

$$\text{Jumlah site}_{UL} = \frac{16,88}{3} = 6$$

- Jumlah *site* arah *downlink*

$$\text{Jumlah site}_{DL} = \frac{56,6}{3} = 18$$

6. Perhitungan *Link Budget*

a. Perhitungan *Link Budget* Arah *Uplink*

$$R_{seNodeB} = SINR + T_{NeNodeB} + N_{feNodeB}$$

$$MSRS = R_{seNodeB} + L_{cable} + IM + GR$$

$$MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$$

- $R_{seNodeB} = SINR + T_{NeNodeB} + N_{feNodeB}$
 $= -7 + (-132,22) + 2,3$
 $= -136,92 \text{ dBm}$
- $MSRS = R_{SeNodeB} + L_{cable} + IM + GR$
 $= -136,92 + 0,5 + 1 + 2,3$
 $= -153,42 \text{ dBm}$
- $MAPL_{uplink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$
 $= 6,188 - (-149,42) - 18 - 9,4$
 $= 132,204 \text{ dB}$

b. Perhitungan *Link Budget* Arah Downlink

$$EIRP_{subcarrier} = P_{subcarrier} + GT - L_{cable}$$

$$R_{Sue} = TN + NF_{ue} + SINR$$

$$MSRS = R_{Sue} + LR_{body} + IM$$

$$MAPL_{downink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$$

- $EIRP_{subcarrier} = P_{subcarrier} + GT - L_{cable}$
 $= 15,208 + 18 - 0,5$
 $= 32,208 \text{ dBm}$
- $R_{Sue} = TN + NF_{ue} + SINR$
 $= -132,22 + 7 + (-9)$
 $= -134,22$
- $MSRS = R_{Sue} + LR_{body} + IM$
 $= -134,22 + 0 + 4$
 $= -130,22 \text{ dBm}$
- $MAPL_{downink} = EIRP_{subcarrier} - MSRS - PL - SF$
 $= 32,208 - (-130,22) - 18 - 9,4$
 $= 135,525 \text{ dB}$

7. Perhitungan Model Propagasi

$$PL = 46,3 + 33,9(\log f_c) + 13,82 \log h_T - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log d - CM$$

a. Perhitungan Radius Sel Arah *Uplink*

$$PL = 46,3 + 33,9(\log f_c) + 13,82 \log h_T - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log d - CM$$

$$132,20 = 46,3 + 33,9(\log 1800) + 13,82 \log 30 - 1,036 + (44,9 - 6,55 \log 30) \log d - 3$$

$$132,20 = 46,3 + 110,35 + 20,41 - 1,036 + (44,9 - 9,67) \log d - 3$$

$$132,20 = 132,20 + 35,23 \log d$$

$$132,20 - 132,20 = 35,23 \log d$$

$$\log d = 0/35,23$$

$$\log d = 0$$

$$d = 1 \text{ Km}$$

b. Perhitungan Radius Sel Arah *Downlink*

$$PL = 46,3 + 33,9(\log f_c) + 13,82 \log h_T - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log d - CM$$

$$135,525 = 46,3 + 33,9(\log 1800) + 13,82 \log 30 - 1,036 + (44,9 - 6,55 \log 30) \log d - 3$$

$$135,525 = 46,3 + 110,35 + 20,41 - 1,036 + (44,9 - 9,67) \log d - 3$$

$$135,525 = 132,20 + 35,23 \log d$$

$$135,525 - 132,20 = 35,23 \log d$$

$$\log d = 3,325/35,23$$

$$\log d = 0,094$$

$$d = 1,24 \text{ Km}$$

8. Perhitungan Jumlah *Site Planning by Coverage*

$$\text{Luas sel} = 1,95 \times 2,6 \times d^2$$

$$\text{Jumlah site}_{UL/DL} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Luas Sel}}$$

a. Perhitungan Luas Sel Arah *Uplink*

$$\begin{aligned} \text{Luas sel UL} &= 1,95 \times 2,6 \times 1^2 \\ &= 5,07 \text{ Km}^2 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Luas Sel Arah *Downlink*

$$\begin{aligned} \text{Luas sel DL} &= 1,95 \times 2,6 \times 1,24^2 \\ &= 7,75 \text{ Km}^2 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Jumlah Site Arah *Uplink*

$$\begin{aligned} \text{Jumlah site}_{UL} &= \frac{166,21}{5,07} \\ &= 32 \text{ site} \end{aligned}$$

d. Perhitungan Jumlah Site Arah *Downlink*

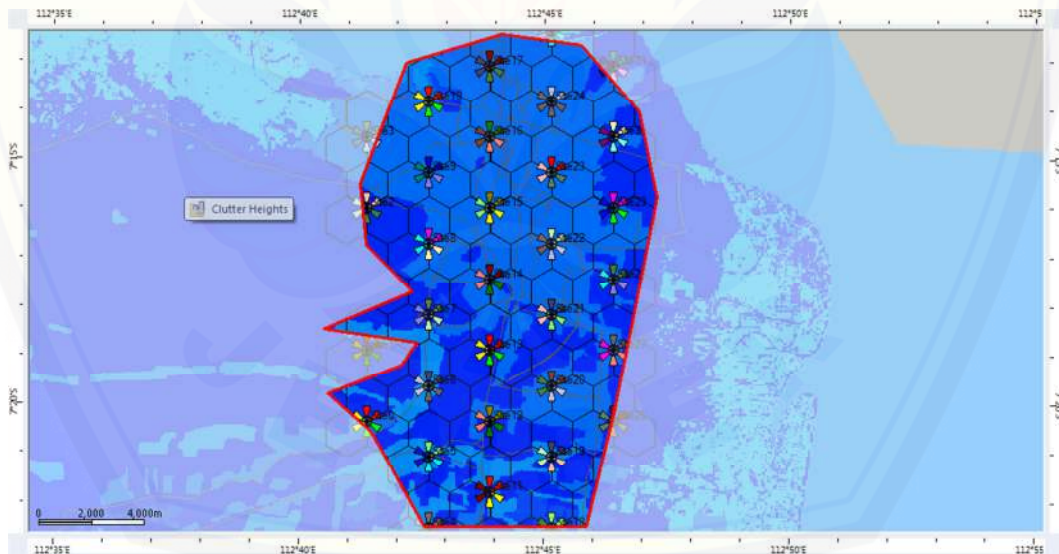
$$\begin{aligned} \text{Jumlah site}_{UL} &= \frac{166,21}{7,75} \\ &= 21 \text{ site} \end{aligned}$$

9. *Plotting Site* dan Penampakan pada *Map*a. *Plotting Site Skema Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Fractional Frequency Reuse*Tabel 3 Lokasi *Site* pada *Software Atoll*

Nama	Longitude	Latitude
Site0	112°42'24.55"E	7°21'28.07"S
Site1	112°42'23.37"E	7°16'16.37"S
Site10	112°43'30.53"E	7°14'19.23"S
Site11	112°43'30.24"E	7°13'1.3"S
Site12	112°44'40.07"E	7°22'45.48"S
Site13	112°44'39.76"E	7°21'27.55"S
Site14	112°44'39.46"E	7°20'9.63"S
Site15	112°44'39.16"E	7°18'51.71"S
Site16	112°44'38.86"E	7°17'33.78"S
Site17	112°44'38.55"E	7°16'15.86"S
Site18	112°44'38.25"E	7°14'57.93"S
Site19	112°44'37.95"E	7°13'40.01"S

Site2	112°42'23.08"E	7°14'58.44"S
Site20	112°44'37.66"E	7°12'22.08"S
Site21	112°45'47.51"E	7°22'6.25"S
Site22	112°45'47.2"E	7°20'48.33"S
Site23	112°45'46.89"E	7°19'30.4"S
Site24	112°45'46.59"E	7°18'12.48"S
Site25	112°45'46.28"E	7°16'54.56"S
Site26	112°45'45.98"E	7°15'36.63"S
Site27	112°45'45.67"E	7°14'18.71"S
Site28	112°45'45.37"E	7°13'0.79"S
Site29	112°46'54.35"E	7°18'51.18"S
Site3	112°42'22.78"E	7°13'40.52"S
Site30	112°46'54.04"E	7°17'33.25"S
Site31	112°46'53.74"E	7°16'15.33"S
Site4	112°43'32.33"E	7°22'6.78"S
Site5	112°43'32.03"E	7°20'48.85"S
Site6	112°43'31.73"E	7°19'30.93"S
Site7	112°43'31.43"E	7°18'13"S
Site8	112°43'31.13"E	7°16'55.08"S
Site9	112°43'30.83"E	7°15'37.15"S

- b. Penampakan *Site Skema Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Fractional Frequency Reuse* pada Map



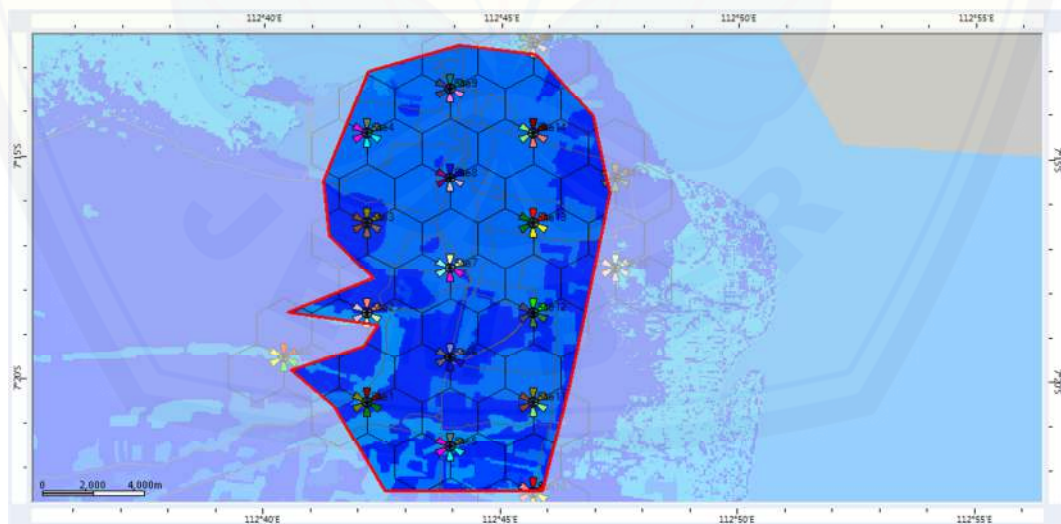
Gambar 1 Posisi *Site* pada Map Software Atoll

- c. *Plotting Site Skema Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Softl Frequency Reuse*

Tabel 4 Lokasi *Site* pada *Software Atoll*

Nama	Longitude	Latitude
Site0	112°40'25.79"E	7°19'31.21"S
Site1	112°42'11.04"E	7°20'31.36"S
Site10	112°45'41.61"E	7°22'31.63"S
Site11	112°45'41.13"E	7°20'30.55"S
Site12	112°45'40.65"E	7°18'29.46"S
Site13	112°45'40.18"E	7°16'28.38"S
Site14	112°45'39.71"E	7°14'27.29"S
Site15	112°45'39.24"E	7°12'26.21"S
Site16	112°47'25.42"E	7°17'28.51"S
Site17	112°47'24.94"E	7°15'27.42"S
Site2	112°42'10.58"E	7°18'30.27"S
Site3	112°42'10.12"E	7°16'29.18"S
Site4	112°42'9.66"E	7°14'28.09"S
Site5	112°43'56.32"E	7°21'31.5"S
Site6	112°43'55.85"E	7°19'30.41"S
Site7	112°43'55.38"E	7°17'29.33"S
Site8	112°43'54.92"E	7°15'28.24"S
Site9	112°43'54.46"E	7°13'27.15"S

- d. *Penampakan Site Skema Carrier Aggregation Deployment Scenario 3 with Softl Frequency Reuse pada Map*



Gambar 2 Posisi *Site* pada *Map Software Atoll*

10. Standar KPI Vendor Huawei

a. *Signal Level Quality*

4.4 Analisis simulasi *coverage by signal level*

Signal level didefinisikan sebagai rata-rata linier daya pada *resource elements* yang membawa informasi *reference signal* pada sel tertentu yang digunakan sebagai pertimbangan dalam pengukuran *bandwidth* frekuensi. *Signal level* adalah pengukuran yang penting pada UE *physical layer*, berfungsi memberikan informasi ke UE mengenai kuat sinyal pada suatu sel berdasarkan perhitungan *path loss*.

Simulasi ini menggunakan fitur *predictions coverage by signal level (DL)* pada *software* Atoll 3.2.1 kemudian dilakukan *export* ke *software* Google Earth. Berikut merupakan standar *signal level quality* yang digunakan dalam tugas akhir ini:

Tabel 4.6 *Signal level quality*^[12]

Best Signal Level (dBm)	SL ≤ -105 dBm	-105 ≤ SL ≤ -95 Bm	-95 ≤ SL ≤ -80 dBm	SL ≥ -80 dBm
Quality	VERY BAD	BAD	GOOD	VERY GOOD

b. *CINR level Quality*

4.5 Analisis simulasi *Carrier to Interference and Noise Ratio(CINR) level*

Parameter CINR atau C/(I+N) adalah parameter yang menggambarkan perhitungan daya *signal carrier* terhadap daya sinyal penginterferensinya. Dari simulasi ini dapat terlihat bagaimana kualitas suatu sel yang mencakup suatu area terhadap pengaruh pemancar lainnya, terutama yang berada didekatnya.

Simulasi ini menggunakan fitur *predictions coverage by C/(I+N) level (DL)* pada *software* Atoll 3.2.1 kemudian dilakukan *export* ke *Google Earth*. Berikut merupakan standar *signal level quality* yang digunakan dalam tugas akhir ini:

Tabel 4.8 *CINR level quality*^[17]

Best CINR Level (dBm)	CL ≤ 5 dB	5 ≤ CL ≤ 15 dBm	15 ≤ SL ≤ 25 dBm	SL ≥ 25 dBm
Quality	BAD	AVERAGE	GOOD	VERY GOOD

c. *Throughput Quality*



Acceptable range	DL: With field test: >=15Mbps UL: With field test: >=6Mbps
Target range	DL: With field test: >=18Mbps UL: With field test: >=8Mbps

iv. Maximum round trip latency

To the Maximum round trip latency, select 1 edge point to perform the ping test. This point must be meet the condition of **100 < RSRP < 90**. The ping packet size is 32KB and the ping repeat time is 100. Record the average ping delay. This test should be implemented for 20% of sectors per cluster.

