



**ANALISIS PERENCANAAN KAPASITAS DAN CAKUPAN JARINGAN
LONG TERM EVOLUTION DENGAN METODE *FRACTIONAL
FREQUENCY REUSE* DAN *SOFT FREQUENCY REUSE***

SKRIPSI

Oleh

**Yufan Dwi Anggoro
NIM 131910201057**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS PERENCANAAN KAPASITAS DAN CAKUPAN JARINGAN
LONG TERM EVOLUTION DENGAN METODE *FRACTIONAL
FREQUENCY REUSE* DAN *SOFT FREQUENCY REUSE***

SKRIPSI

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

Oleh

**Yufan Dwi Anggoro
NIM 131910201057**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Kupanjatkan rahmat dan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia dan kasih sayang-Nya kepadaku dan sholawat serta salam kepada Rasulullah SAW yang senantiasa memberikan syafaatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan sebuah awal dan langkah kecil guna menggapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Oleh karena itu, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT Dzat yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Rasulullah SAW yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat islam.
3. Orang tua tercinta, Ibunda Sulistiani dan Ayahanda Gufron (Almarhum) yang tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan semangat, membesarkan, mendidik, memberikan dukungan baik moriil maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku.
4. Kakakku Anggita Cahya Lestari dan Adikku Muhammad Fariz Fahrezi terima kasih atas segala dukungan, semangat dan doa selama ini.
5. Dosen pembimbing Ibu Ike Fibriani, S.T., M.T., dan Bapak Dodi Setiabudi, S.T., M.T., atas keikhlasan dan kesabarannya dalam membimbing saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Almamater Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan tempat untuk menambah ilmu dan wawasan ku.

MOTTO

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah melainkan orang-orang yang kufur (terhadap karunia Allah)”.

(QS. Al-Yusuf: 87)^{*)}

“Ibadah orang merdeka itu tidak lain kecuali syukur kepada Allah, bukan karena takut atau menginginkan sesuatu”.

(Ali Zainal Abidin)^{**)}

“Kebahagiaan adalah segala ketika apa yang kamu pikirkan, apa yang kamu katakan, apa yang kamu lakukan berjalan dengan harmoni”.

(Mahatma Gandhi)^{***)}

^{*)} QS. Al-Yusuf: 87

^{**)} Ali Zainal Abidin

^{***)} Mahatma Gandhi

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

nama : Yufan Dwi Anggoro

NIM : 131910201057

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ” *Analisis Perencanaan Kapasitas Dan Cakupan Jaringan Long Term Evolution Dengan Metode Fractional Frequency Reuse Dan Soft Frequency Reuse*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 Januari 2018

Yang menyatakan,

Yufan Dwi Anggoro

NIM 131910201057

SKRIPSI

**ANALISIS PERENCANAAN KAPASITAS DAN CAKUPAN JARINGAN
LONG TERM EVOLUTION DENGAN METODE *FRACTIONAL
FREQUENCY REUSE* DAN *SOFT FREQUENCY REUSE***

Oleh :

Yufan Dwi Anggoro

NIM 131910201057

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ike Fibriani, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dodi Setiabudi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Analisis Perencanaan Kapasitas Dan Cakupan Jaringan Long Term Evolution Dengan Metode Fractional Frequency Reuse Dan Soft Frequency Reuse*” karya Yufan Dwi Anggoro telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, 18 Januari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Ike Fibriani, S.T., M.T.
NIP 198002072015042001

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.
NIP 198405312008121004

Anggota II,

Anggota III,

Widya Cahyadi, S.T., M.T.
NIP 198511102014041001

Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si.
NIP 196801191997021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Analisis Perencanaan Kapasitas dan Cakupan Jaringan *Long Term Evolution* Dengan Metode *Fractional Frequency Reuse* dan *Soft Frequency Reuse*;

Yufan Dwi Anggoro, 131910201057; 2018: 120 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan teknologi telekomunikasi sekarang ini mengalami kemajuan yang pesat terutama pada komunikasi nirkabel (*wireless*) dalam menunjang teknologi informasi dan media internet. Selain itu teknologi telekomunikasi telah menjadi kebutuhan masyarakat khususnya layanan bergerak (seluler). Kecepatan tinggi dan efisien dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Namun, gangguan interferensi sering terjadi pada teknologi LTE akibat adanya sinyal dari BTS lain yang mempunyai frekuensi yang sama (*co-channel*) dan akibat daya sinyal pengganggu yang cukup besar yang terjadi dengan alokasi kanal yang berdekatan.

Parameter yang dibutuhkan dalam perencanaan jaringan seluler LTE yaitu cakupan dan kapasitas. Pada cakupan terdiri dari *perhitungan link budget* yang digunakan untuk memperkirakan maksimum *pathloss* atau *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL), model propagasi, radius *cell* dan jumlah sel. Sedangkan untuk kapasitas terdiri dari estimasi jumlah pelanggan, *throughput* layanan, *single user* dan *network throughput* dan kapasitas sel.

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan jaringan teknologi LTE frekuensi 1800 MHz di Kota Malang berdasarkan kapasitas dan cakupan. Menganalisa pengaruh metode *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* terhadap perancangan jaringan LTE dengan jumlah site yang diperlukan.

Penelitian dilakukan dengan melakukan perhitungan dan simulasi *software* Atoll. Pada penelitian menggunakan dua metode yaitu *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* untuk manajemen frekuensi. Daerah yang dilakukan penelitian yaitu pada daerah *urban* dan *sub urban*. Pada penelitian menganalisa

pengaruh *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* terhadap *Carrier Interference Noise*, *throughput* dan *Block Error Rate*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perencanaan LTE Kota Malang menyediakan kapasitas besar dengan menggunakan skema *fractional frequency reuse* arah *downlink* area urban tersedia kapasitas sel sebesar 28799,976 kbps sedangkan dengan menggunakan skema *soft frequency reuse* terjadi peningkatan kapasitas sel sebesar 35999,976 kbps. Untuk memaksimalkan area cakupan urban dengan model propagasi Cost Hata menghasilkan radius *cell* arah *downlink* secara perhitungan sebesar 3,51 km.

Penggunaan alokasi *Physical Cell Identity* (PCI) dengan skema *fractional frequency reuse* area sub urban nilai rata-rata *Carrier to Interference Noise* sebesar 11,46 dB dan dengan skema *soft frequency reuse* terjadi peningkatan nilai rata-rata sebesar 12,27 dB, yang artinya nilai *Carrier Interference Noise* dari kedua skema *frequency reuse* dikaatakan normal sesuai tabel 4.6. Dari segi *throughput* dengan skema *fractional frequency reuse* nilai rata-rata sebesar 26.731,26 kbps sedangkan dengan skema *soft frequency reuse* terjadi peningkatan *throughput* rata-rata sebesar 28.921,34 kbps dan pada BLER dengan skema *fractional frequency reuse* area cakupan sub urban sebesar 105,1 terjadi peningkatan cakupan area dengan skema *soft frequency reuse* sebesar 113,6 dengan nilai rata-rata BLER 0,02. Untuk *connected user* dengan skema *soft frequency reuse* jumlah *user* tidak terkoneksi mengalami penurunan sampai 0,6% dibandingkan *fractional frequency reuse*, meskipun dari kedua skema *frequency reuse* tersebut *user* yang tidak terkoneksi sama-sama kecil dikarenakan *throughput* yang dibangkitkan dari kedua *frequency reuse* tersebut besar.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirohim.

Puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*Analisis Perencanaan Kapasitas Dan Cakupan Jaringan Long Term Evolution Dengan Metode Fractional Frequency Reuse Dan Soft Frequency Reuse*". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak akan bisa selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis sampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta, Ibunda Sulistiani dan Ayahanda Gufron (Almarhum) yang telah membesarkan, mendidik, tiada henti-hentinya mengirimkan doa, memberikan semangat, dan memberikan dukungan baik moriil maupun materiil dan senantiasa mencurahkan kasih sayang luar biasa kepadaku.
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
4. Ibu Ike Fibriani, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Dodi Setiabudi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing hingga pengerjaan skripsi ini selesai.
5. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji I dan Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si., selaku dosen penguji II.
6. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
7. Para staf karyawan dan karyawan serta teknisi Fakultas teknik Universitas jember yang telah memberikan bantuan selama mengikuti pendidikan di Fakultas teknik Universitas Jember.

8. Kakak dan adikku serta keluarga besarku yang telah memberikan dukungan, semangat, serta bantuannya.
9. Dulur-dulur INTEL (Elektro 2013) yang banyak membantu, dan memberi semangat dan dukungan sejak awal menjadi keluarga besar di teknik hari.
10. Sahabat pejuang skripsi Dahlia Fatmawati dan Nurul Hidayah yang telah meluangkan tenaga dan waktu bersama, memberi kritik, saran, maupun semangat dan hiburan di kala gundah.
11. Konsentrasi Telkom Elektro 2013 yang memberikan banyak ilmu dan kenangan bersama.
12. Ahmad Nurcholis, S.T (Almarhum) terima kasih atas waktu dan ilmunya untuk membantu menyelesaikan masalah yang terjadi pada data dan software yang digunakan.
13. Dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan dan motivasi kalian dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 18 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Matriks Perumusan Masalah	5
2.2 Teknologi <i>Long Term Evolution</i> (LTE).....	9
2.2.1 Pengertian Teknologi <i>Long Term</i> <i>Evolution</i> (LTE).....	9
2.2.2 Arsitektur <i>Long Term Evolution</i> (LTE).....	11
2.2.3 <i>Adaptive Modulation and Coding</i>	13
2.2.3.1 Skema Sistem Modulasi LTE	14
2.2.3.2 <i>Code Rate</i>	15
2.2.3.3 SINR Minimum AMC	15
2.3 Manajemen Interferensi.....	16

2.3.1	<i>Fractional Frequency Reuse</i>	16
2.3.2	<i>Soft Frequency Reuse</i>	18
2.4	Perencanaan Kapasitas	19
2.4.1	Estimasi Jumlah Pelanggan	20
2.4.2	Throughput Layanan	20
2.4.3	Single User dan Network Throughput	23
2.4.4	Kapasitas Sel	25
2.5	Perencanaan Cakupan	26
2.5.1	Perhitungan Link Budget	26
2.5.2	Model Propagasi Cost 231 Hatta	28
2.6	Software Radio Planning Atoll	29
BAB 3.	METODE PENELITIAN	30
3.1	Tahap Penelitian	30
3.2	Tempat Penelitian	31
3.3	Metode Penelitian	31
3.4	Perancangan Sistem	32
3.5	Tahap Perencanaan Simulasi	37
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Analisa Perhitungan	35
4.1.1	Perencanaan Kapasitas	35
4.1.1.1	Estimasi Jumlah Pelanggan	35
4.1.1.2	Network Throughput	42
4.1.1.3	Kapasitas Sel	49
4.1.2	Perhitungan Cakupan	49
4.1.2.1	Perhitungan Link Budget	49
4.1.2.2	Perhitungan Model Propagasi Cost 231 Hatta	53
4.2	Analisa Simulasi	54
4.2.1	Analisa Perencanaan Jaringan LTE	54
4.2.2	Analisa Pengaruh Fractional Frequency Reuse (FFR) Urban	56

4.2.2.1 Simulasi <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	57
4.2.2.2 Simulasi <i>Coverage by Throughput</i>	59
4.2.2.3 Simulasi <i>Coverage by Quality Indikator</i>	61
4.2.2.4 Simulasi <i>Connected User</i>	62
4.2.3 Analisa Pengaruh Soft Frekuensi Reuse (SFR) Urban	62
4.2.3.1 Simulasi <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	63
4.2.3.2 Simulasi <i>Coverage by Throughput</i>	64
4.2.3.3 Simulasi <i>Coverage by Quality Indikator</i>	65
4.2.3.4 Simulasi <i>Connected User</i>	66
4.2.4 Analisa Pengaruh Fractional Frequency Reuse (FFR) Sub Urban	67
4.2.4.1 Simulasi <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	67
4.2.4.2 Simulasi <i>Coverage by Throughput</i>	69
4.2.4.3 Simulasi <i>Coverage by Quality Indikator</i>	71
4.2.4.4 Simulasi <i>Connected User</i>	72
4.2.5 Analisa Pengaruh Soft Frequency Reuse (SFR) Sub Urban	73
4.2.5.1 Simulasi <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	73
4.2.5.2 Simulasi <i>Coverage by Throughput</i>	74
4.2.5.3 Simulasi <i>Coverage by Quality Indikator</i>	75
4.2.5.4 Simulasi <i>Connected User</i>	76
BAB 5. PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	80

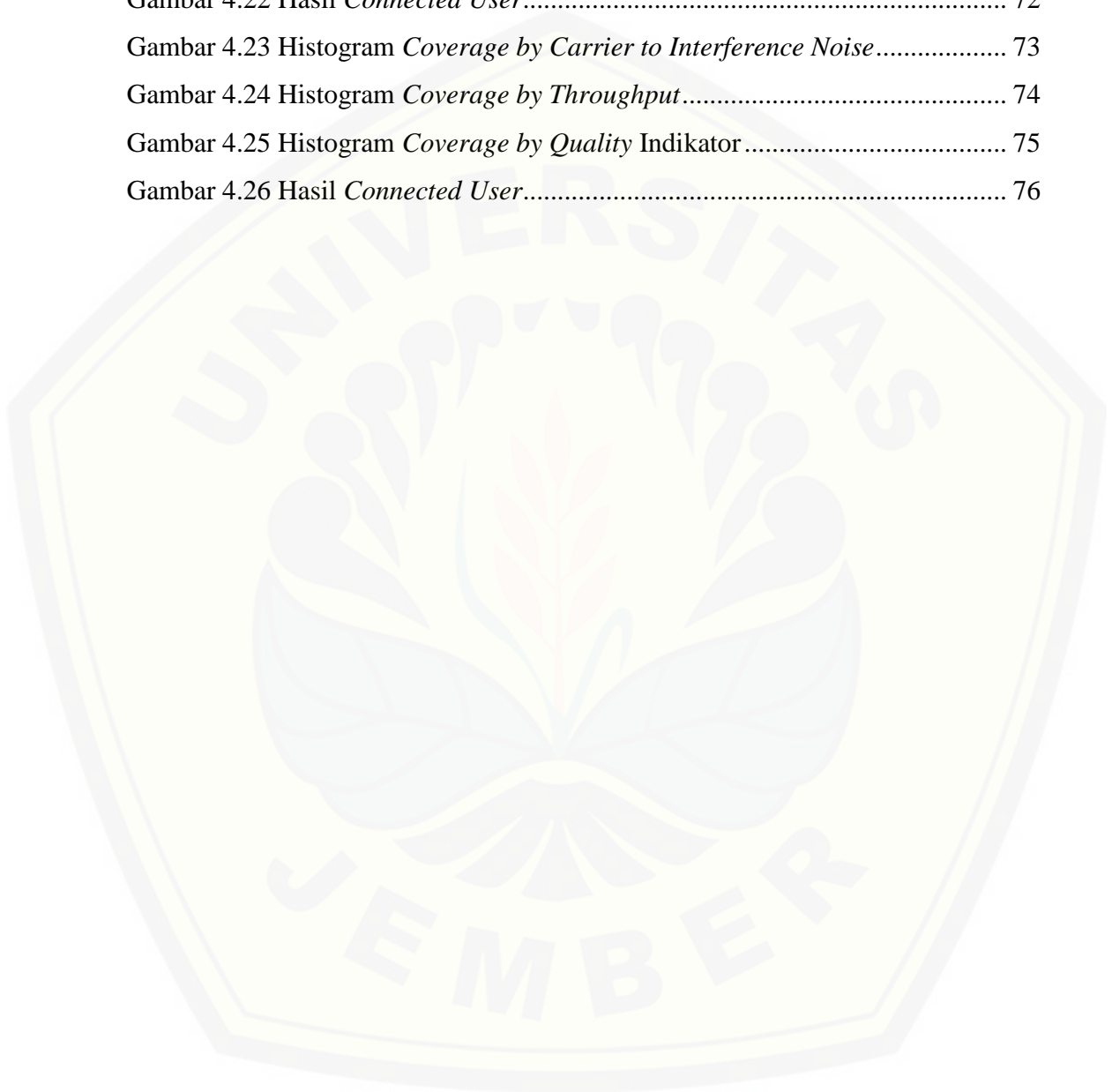
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Matriks Perumusan Masalah	6
Tabel 2.2 <i>Index CQI</i> Terhadap Perubahan Jenis Modulasi dan <i>Coding Rate</i>	16
Tabel 2.3 Alokasi Daya Pancar dan <i>Bandwidth Fractional Frequency Reuse</i>	18
Tabel 2.4 Alokasi Daya Pancar dan <i>Bandwidth Soft Frequency Reuse</i>	19
Tabel 2.5 Parameter <i>Service Model</i>	21
Tabel 2.6 Parameter <i>Traffic Model</i> Berdasarkan Morfologi	23
Tabel 2.7 <i>Peak to Average Ratio</i> Berdasarkan Morfologi	24
Tabel 2.8 Hubungan <i>RB Number</i> dengan <i>Bandwidth</i>	25
Tabel 3.1 Jumlah Penduduk Berdasarkan Kecamatan Kota Malang	33
Tabel 3.2 Luas Wilayah Berdasarkan Kecamatan Kota Malang	33
Tabel 3.3 Parameter <i>Link Budget</i> Arah <i>Uplink</i>	34
Tabel 3.4 Parameter <i>Link Budget</i> Arah <i>Downlink</i>	35
Tabel 4.1 Estimasi Jumlah Pelanggan.....	42
Tabel 4.2 <i>Throughput/sessions</i> Tiap <i>Traffic Parameters</i>	43
Tabel 4.3 <i>Single User Throughput</i> Masing Morfologi	47
Tabel 4.4 Parameter <i>Link Budget</i> Dari Arah <i>Uplink</i>	51
Tabel 4.5 Parameter <i>Link Budget</i> Dari Arah <i>Downlink</i>	53
Tabel 4.6 Standarisasi Nilai <i>Carrier to Interference Noise</i>	58
Tabel 4.7 Standarisasi <i>Throughput</i>	60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Evolusi 3GPP	10
Gambar 2.2 Evolusi jaringan LTE.....	10
Gambar 2.3 Arsitektur LTE.....	13
Gambar 2.4 Ilustrasi Modulasi Adaptif.....	14
Gambar 2.5 Grafik Hubungan CQI dan SNR	15
Gambar 2.6 <i>Fractional Frekuensi Reuse</i>	17
Gambar 2.7 <i>Soft Frequency Reuse</i>	19
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	30
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem	32
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem	37
Gambar 4.1 Hasil Perencanaan Jaringan LTE Urban	55
Gambar 4.2 Hasil Perencanaan Jaringan LTE SubUrban	55
Gambar 4.3 Parameter Atoll skema <i>Fractional Frequency Reuse</i>	56
Gambar 4.4 Peta Urban <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	57
Gambar 4.5 Histogram <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	58
Gambar 4.6 Peta Urban <i>Coverage by Throughput</i>	59
Gambar 4.7 Histogram <i>Coverage by Throughput</i>	60
Gambar 4.8 Peta <i>Coverage by Quality</i> Indikator	61
Gambar 4.9 Histogram <i>Coverage by Quality</i> Indikator	61
Gambar 4.10 Hasil Simulasi <i>Connected User</i>	62
Gambar 4.11 Parameter Atoll skema <i>Soft Frequency Reuse</i>	63
Gambar 4.12 Histogram <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	63
Gambar 4.13 Histogram <i>Coverage by Throughput</i>	64
Gambar 4.14 Histogram <i>Coverage by Quality</i> Indikator	65
Gambar 4.15 Hasil <i>Connected User</i>	66
Gambar 4.16 Peta SubUrban <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	67
Gambar 4.17 Histogram <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	68
Gambar 4.18 Peta Urban <i>Coverage by Throughput</i>	69

Gambar 4.19 Histogram <i>Coverage by Throughput</i>	70
Gambar 4.20 Peta <i>Coverage by Quality Indikator</i>	71
Gambar 4.21 Histogram <i>Coverage by Quality Indikator</i>	72
Gambar 4.22 Hasil <i>Connected User</i>	72
Gambar 4.23 Histogram <i>Coverage by Carrier to Interference Noise</i>	73
Gambar 4.24 Histogram <i>Coverage by Throughput</i>	74
Gambar 4.25 Histogram <i>Coverage by Quality Indikator</i>	75
Gambar 4.26 Hasil <i>Connected User</i>	76



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi sekarang ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat terutama pada komunikasi nirkabel (*wireless*) dalam menunjang teknologi informasi dan media internet. Selain itu teknologi telekomunikasi telah menjadi kebutuhan masyarakat khususnya layanan bergerak (seluler). Kebutuhan pelanggan untuk layanan *multimedia broadband* dengan kecepatan akses yang lebih cepat dan optimal terus meningkat. Dengan adanya teknologi LTE yang mampu memberikan solusi terhadap layanan *Broadband Wireless Access (BWA)* yang dituntut dapat memenuhi komunikasi laju data yang tinggi, kapasitas yang besar, area akses yang semakin luas, dan mobilitas yang tinggi. Pada teknologi LTE digunakan *Orthogonal Frequency Multiple Acces (OFDMA)* sebagai teknologi akses ganda. Penggunaan OFDMA dapat mengurangi efek *Intersymbol Interference (ISI)*, akan tetapi dengan diterapkannya teknologi OFMA yang memakai frekuensi tunggal menyebabkan peningkatan efek *Intercell Interference (ICI)*. Gangguan interferensi yang sering terjadi pada teknologi LTE akibat adanya sinyal dari BTS lain yang mempunyai frekuensi yang sama (*co-channel*) dan akibat daya sinyal pengganggu yang cukup besar yang terjadi dengan alokasi kanal yang berdekatan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu teknik untuk mengurangi gangguan interferensi yaitu dengan teknik manajemen interferensi (Wisnu Hendra Pratama. 2015).

Untuk merencanakan jaringan seluler LTE meliputi beberapa sudut pandang, yakni dari *coverage*, *capacity*, dan dari segi *finance* sebagai pengendali keduanya. Pada penelitian sebelumnya yang terkait tentang perencanaan LTE dengan manajemen interferensi yaitu studi perancangan jaringan LTE dengan *fractional frequency reuse* dan *carrier aggregation* (Ayu Tika P. 2016). Pada penelitian tersebut dilakukan perencanaan kapasitas dan cakupan dengan frekuensi 1800 MHz. Sehingga dari penelitian tersebut dapat diprediksi seberapa banyak enodeB yang dibutuhkan untuk mencakup daerah di wilayah DKI Jakarta untuk

mengoptimalkan dan memaksimalkan jaringan tersebut dari parameter yang diuji. Penelitian kedua yaitu perancangan jaringan *Long Term Evolution* (LTE) di kota Surakarta menggunakan *fractional frequency reuse* (Fauzi Hidayat. 2015). Penelitian tersebut melakukan pendekatan cakupan dan kapasitas dengan pengaruhnya terhadap skema FFR band frekuensi 1800 MHz , sehingga dapat dibandingkan jumlah site dari hasil perhitungan dengan analisis simulasi. Pada penelitian ketiga yaitu perencanaan jaringan long term evolution (LTE) di Kota Bandung menggunakan metode *optimal fractional frequency reuse* (OFFR) sebagai manajemen interferensi (Rizwan Jufri. 2016). Penelitian ini memerencanakan jaringan dengan meningkatkan performansi kebutuhan *throughput* bagi *user* dengan estimasi sampai lima tahun mendatang.

Dari referensi penelitian sebelumnya maka peneliti mengusulkan tentang analisis perencanaan kapasitas dan cakupan jaringan *long term evolution* dengan metode *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse*. Metode ini digunakan dalam perancangan LTE sebagai manajemen interferensi. Manajemen tersebut digunakan untuk menghemat ketersediaan penggunaan frekuensi dan dapat memperkecil penggunaan frekuensi yang sama pada *user* sehingga dapat mengoptimalkan cakupan area dan meningkatkan kapasitas pada area tersebut. Perencanaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh skema metode *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* terhadap *Carrier Interference Noise* atau $C/(I+N)$, *Block Error Rate* (BLER), *throughput*, serta kapasitas connected user. Pada tugas akhir ini memilih Kota Malang sebagai daerah yang akan dianalisis perencanaan LTE area morfologi urban dan sub urban dengan frekuensi 1800 MHz.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana perencanaan jaringan LTE frekuensi 1800 MHz berdasarkan perhitungan kapasitas dan cakupan?
2. Bagaimana pengaruh metode *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* terhadap perancangan jaringan LTE di Kota Malang?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah penelitian diatas, agar pembahasan tidak terlalu luas terhadap metode yang digunakan maka diperlukan suatu pembatasan masalah sebagai berikut.

1. Analisa dan simulasi menggunakan *software planning* yaitu Atoll 3.2.1.5838.
2. Perencanaan LTE dilakukan pada frekuensi 1800 MHz.
3. Penelitian ini menggunakan model propagasi Cost 231 Hatta.
4. Perencanaan menggunakan perhitungan skema *frekuensi reuse* dan *link budget*.
5. Tidak merancang sistem algoritma pengalokasian PCI.
6. Perencanaan hanya dilakukan di Kota Malang.
7. Jaringan LTE (*Long Term Evolution*) yang digunakan yaitu mode FDD.
8. Tidak membahas *handover*.
9. Tidak membahas *hardware* alat.

1.4 Tujuan Penelitian

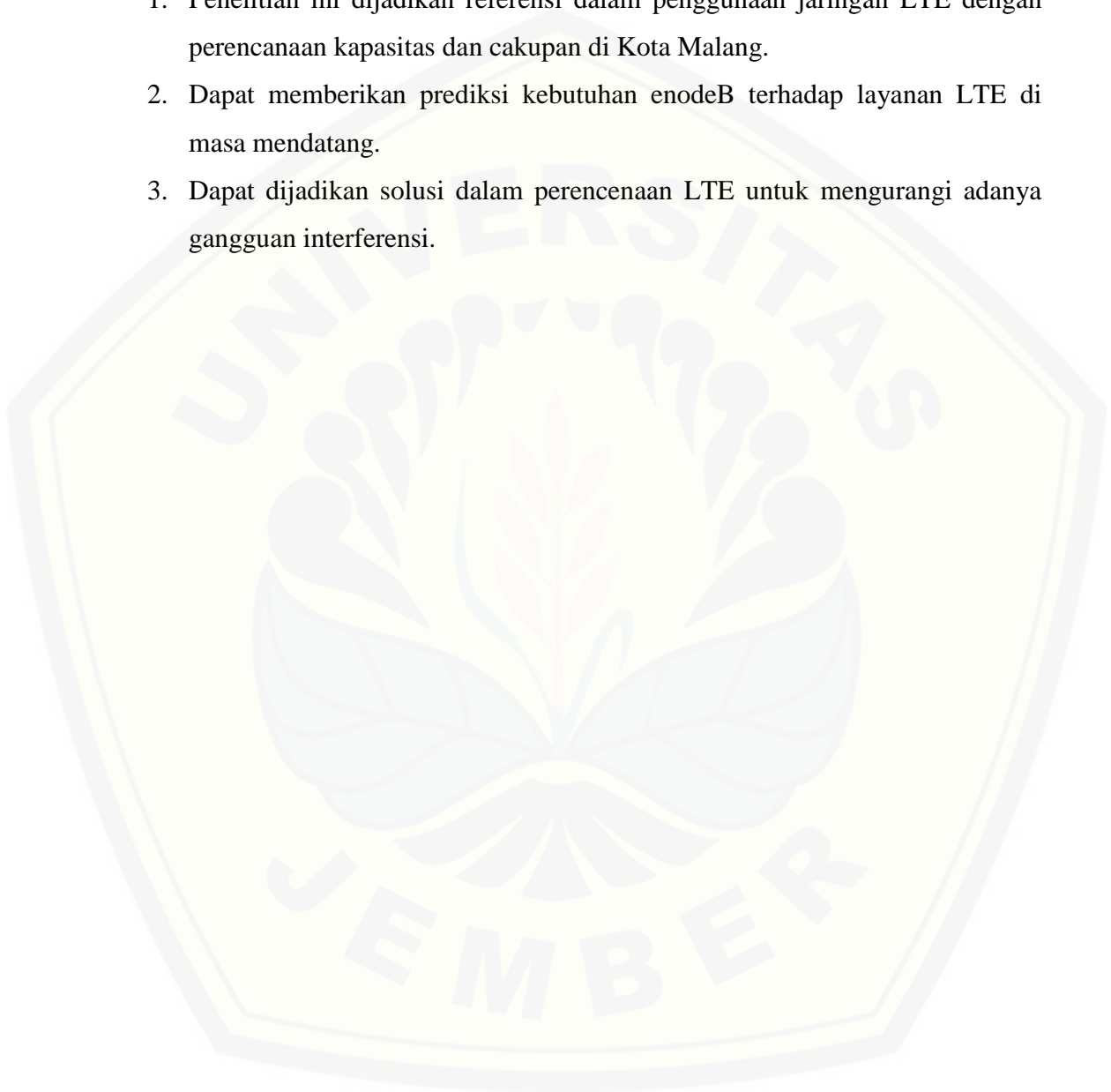
Penelitian yang diusulkan dalam tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut.

1. Dapat merencanakan jaringan teknologi LTE frekuensi FDD 1800 MHz di Kota Malang berdasarkan perhitungan kapasitas dan cakupan.
2. Menganalisa pengaruh metode *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* terhadap perancangan jaringan LTE berdasarkan jumlah *site*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini dijadikan referensi dalam penggunaan jaringan LTE dengan perencanaan kapasitas dan cakupan di Kota Malang.
2. Dapat memberikan prediksi kebutuhan enodeB terhadap layanan LTE di masa mendatang.
3. Dapat dijadikan solusi dalam perencanaan LTE untuk mengurangi adanya gangguan interferensi.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Matriks Perumusan Masalah

Pada bab ini dijelaskan beberapa penelitian dari berbagai jurnal – jurnal sebelumnya untuk dijadikan referensi melakukan penelitian. Dari beberapa penelitian sebelumnya akan dijelaskan dalam bentuk matriks permasalahan. Matriks Permasalahan ini dapat memberikan wacana bagi peneliti agar dapat mengulas lebih dalam tentang topik yang akan diteliti. Referensi jurnal pada tabel 2.1 diambil dari tahun terbitan 5 tahun terakhir. Pada tabel 2.1 merupakan *sample* dari beberapa pustaka yang dipakai sebagai rujukan pada penelitian. Penjelasan dari penelitian-penelitian sebelumnya dijelaskan seperti tabel 2.1 matriks perumusan masalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Matriks Perumusan Masalah

No	Masalah	Solusi	Algoritma	Hasil	Pustaka
1.	Permasalahan <i>co interference</i> menghambat performansi yang maksimal	Melakukan <i>management interference</i> dan penambahan fitur	Menggunakan metode <i>fractional frequency reuse</i> dan <i>carrier aggregation</i>	Penerapan FFR pada skenario CA terjadi peningkatan parameter CINR	Permatasari, Ayu Tika, Hafidudin A.Md, S.T, M.T., Meylani, Linda S.T, M.T. Analisis Perencanaan Jaringan LTE – Advanced Menggunakan Metode Fractional Frequency Reuse dan Fitur Carrier Aggregation di DKI Jakarta. Universitas Telkom
2.	Interferensi yang sering terjadi dalam perencanaan LTE	Perencanaan jaringan seluler LTE dengan memperbaiki interferensi tidak hanya ditepi sel tetapi di	Menggunakan teknik manajemen interferensi yang lebih kompleks	Peningkatan nilai through-put Dengan penerapan SFR (<i>Soft Frequency Reuse</i>) yang kompleks	Riska Nurhasanah, Uke Kurniawan Usman, Ir.,MT. Analisis Unjuk Kerja Sel Tunggal di Jaringan LTE dengan Teknik <i>Adaptive Soft Frequency Reuse</i> . Universitas Telkom. Bandung

		tengah sel			
3.	Kebutuhan akses yang tinggi serta efisiensi spektrum yang tinggi pula dalam layanan <i>broadband</i>	Penerapan pengulangan frekuensi atau teknik <i>frequency reuse</i> dari transmisi <i>downlink</i> LTE	Penggunaan skema pengulangan frekuensi <i>Soft Frequency Reuse</i>	Peningkatan kinerja jaringan dengan nilai SINR dan BLER lebih bagus dibandingkan dengan teknik <i>frekuensi reuse 1</i>	Iskandar, Nuraini. <i>Inter-Cell Interference Coordination with Soft Frequency Reuse Method for LTE Network.</i> Bandung <i>Institute of Technology</i>

Pada paper pertama penulis melakukan penelitian berdasarkan latar belakang yaitu penggunaan internet yang semakin meningkat dan terbatas ketersediaan *bandwidth* untuk mencukupi kapasitas serta adanya interferensi yang tidak bisa dihindari dalam perencanaan LTE. Oleh karena itu pada penelitian ini melakukan perencanaan *Long Term Evolution* (LTE) dengan fitur *carrier aggregation* dan manajemen interferensi *fractional frequency* 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 kedua penulis melakukan penelitian berdasarkan latar belakang karena kebutuhan layanan yang terus meningkat terutama untuk jaringan LTE dan adanya interferensi yang cukup tinggi menjadi tantangan LTE. Sehingga diperlukan manajemen interferensi pada perencanaan LTE yang dapat menghemat penggunaan frekuensi. Dalam penelitian ini menggunakan skema *Adaptive Soft Frequency Reuse* untuk kerja sel meliputi alokasi daya subcarrier, *Signal to Interference Noise Ratio* (SINR) dan kapasitas *throughput*. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini yaitu kapasitas *throughput* naik sebesar 31,66 % dengan teknik AFSSR dibandingkan tanpa penggunaan *frequency reuse*.

Pada paper ketiga penulis melakukan penelitian berdasarkan latar belakang karena kebutuhan akan kapasitas tinggi dan efisiensi spektrum yang tinggi pula dalam layanan *broadband*, sehingga dilakukan pengulangan kembali frekuensi dalam perencanaan jaringan LTE yang lebih optimal untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Pada perencanaan jaringan LTE direncanakan pada frekuensi 1800 MHz dari segi *coverage dimensioning* dan *capacity dimensioning*. Hasil yang diperoleh pada penelitian yaitu nilai SINR dan BLER empat kali lebih bagus dibanding tanpa menggunakan *frequency reuse* meningkat sebesar 81,41 %.

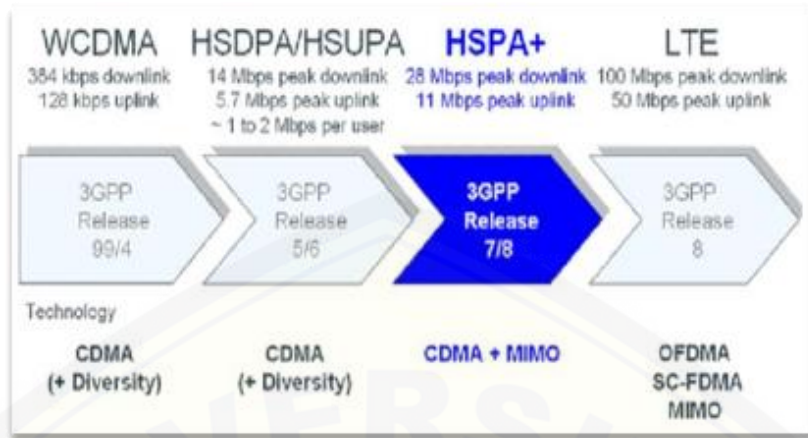
2.2 Teknologi *Long Term Evolution* (LTE)

2.2.1 Pengertian Teknologi *Long Term Evolution* (LTE)

Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi generasi ke empat dari komunikasi selular, yaitu sebuah standar teknologi komunikasi selular yang merupakan lanjutan dari teknologi sebelumnya GSM (*Global System for Mobile Communication*) maupun UMTS (*Universal Mobile Telephone Standard*). Yang mana pada teknologi LTE terjadi peningkatan kapasitas dengan penggunaan teknologi modulasinya. LTE ini merupakan teknologi yang dikembangkan oleh 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) sebagai fungsi untuk mengatasi peningkatan permintaan akan kebutuhan layanan komunikasi dengan kecepatan data yang tinggi dan spektrum yang lebih luas. LTE merupakan teknologi selular yang mampu mendukung aplikasi data, voice dan video. Kecepatan data transfer pada *downlink* sebesar 100 Mbps dan *uplink* 50 Mbps, *coverage* yang diberikan pada sistem LTE lebih besar dengan kapasitas yang terpenuhi juga lebih besar sehingga dapat meminimalisasi dana operasional yang rendah.

Komunikasi selular LTE merupakan komunikasi dua arah yaitu dengan menggunakan teknik *multiple acces*, dimana *multiple access* merupakan suatu *point* yang bisa tersambung dari beberapa *point* lainnya yang letak jangkauannya jauh dan antara titik satu sama lain tidak mengganggu akses jaringannya. *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 Carier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) dan LTE bisa diterapkan pada frekuensi 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz (Uke Kurniawan, et al., 2011).

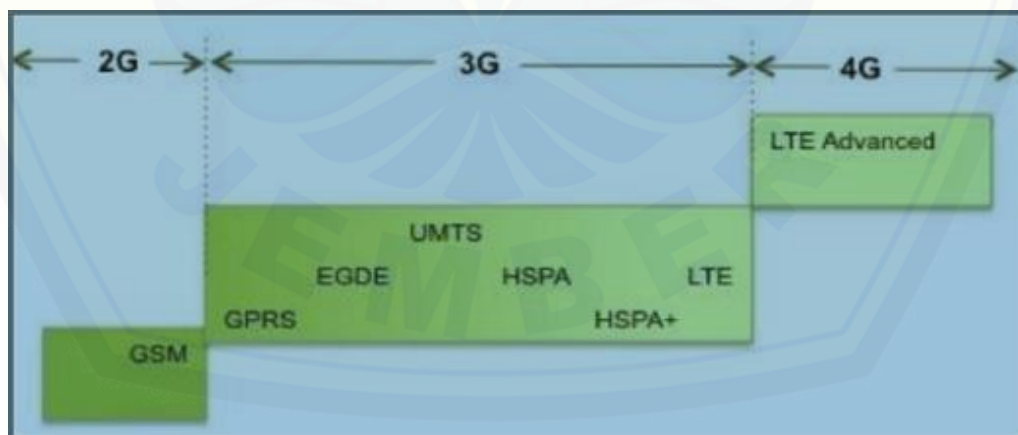
Perkembangan teknologi komunikasi berdasarkan standar 3GPP (*third generation partnership project*) dapat terlihat pada gambar 2.1.



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

Pada Gambar diatas dapat dikatakan bahwa LTE merupakan evolusi dari jaringan seluler yang dipersiapkan untuk teknologi 4G. Pengembangan teknologi LTE ini dari teknologi sebelumnya pada 3GPP memiliki tujuan berikut:

1. Pengembangan jaringan 3G untuk kebutuhan akses yang akan datang.
2. Kecepatan data transmisi yang tinggi dan *quality of service* yang lebih bagus untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.
3. Mengembangkan teknologi *packet switching*.
4. Meminimalasi dana operasional yang cukup rendah dalam perancangan jaringan karena sangat sederhana.



Gambar 2.2 Evolusi Jaringan LTE (Sumber: M. Rachmat, et al., 2013)

Dari gambar 2.2 diatas terlihat bahwa teknologi jaringan LTE terbentuk dari pengembangan teknologi sebelumnya 2G (GSM) maupun 3G (GPRS, UMTS, dan HSPA). Layanan dari teknologi LTE memiliki tujuan meningkatkan

frekuensi dan menyediakan paket akses data yang lebih banyak berdasarkan bandwidth yang berbeda serta memaksimalkan pengiriman jaringan yang lebih mencakupi keseluruhan daripada teknologi UMTS maupun GSM. Kelebihan yang dimiliki teknologi jaringan LTE yaitu, didukung *bandwidth* yang berbeda atau bervariasi dengan rentang nilai antara 1,5,10, dan 20 MHz, dukungan sistem IMT dan ITU R yang lebih kompatibel untuk gelombang frekuensi, didukung kecepatan *broadband* yang tinggi dan frekuensi band tinggi terutama di pusat perkotaan (M. Rachmat, et al., 2013).

2.2.2 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*. Yang mana *radio access* pada LTE ini dikenal dengan nama E-UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Access Network*) berfungsi dalam modulasi dan *handover*. Sedangkan pada bagian *core network* dari LTE disebut dengan EPC (*Evolved Packet Core*) berfungsi dalam hal *charging* dan *mobility management* (Uke Kurniawan, et al., 2012).

1. UE (*User Equipment*)

Merupakan perangkat yang digunakan pada saat berkomunikasi yang mana perangkat ini didukung oleh *smartphone*. Bagian *user equipment* ini terdiri USIM (*Universal Subscriber Identity Module*) dengan fungsi untuk aplikasi *card* dan digunakan sebagai suatu identifikasi, *otentikasi user*, dan juga sebagai pengamanan dari suatu *interface* untuk 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-fungsi dari bagian MME (*Mobility Management Entity*) pada jaringan LTE sebagai berikut:

- *Authentication and Security* berfungsi untuk meng-*authentikasi* UE (*User Equipment*) pada saat UE pertama kali melakukan registrasi ke jaringan. Peng-*authentikasi* diperlukan untuk menjamin adanya permintaan UE, ini dilakukan untuk melindungi rahasia UE dan menghindari komunikasi dari penyadapan orang yang tidak memiliki wewenang.
- *Mobility Management* yang berfungsi sebagai pengaman jalur akses lokasi bagian *user equipment* sampai *eNode B* yang berdasarkan aktivitas UE, dan mengontrol *handover* yang terjadi antara UE dan *eNode B*.
- *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. SGW (*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. PGW (*Packet Data Network Gateway*)

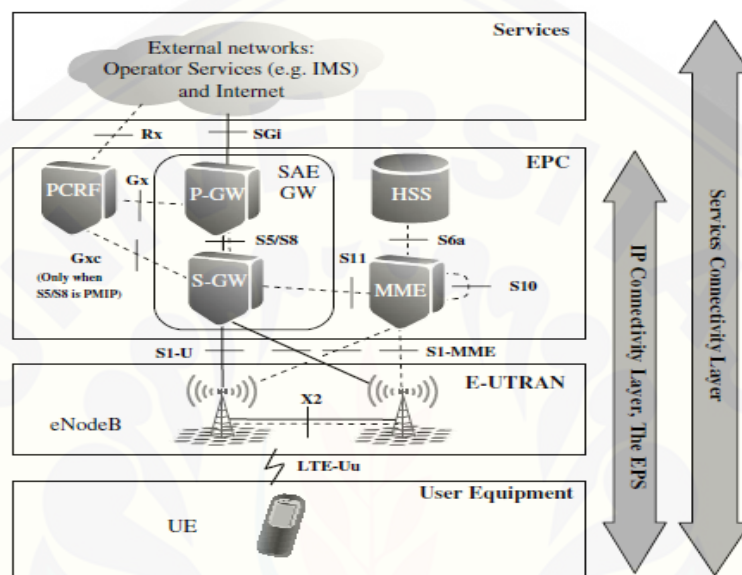
Packet Data Network Gateway yang dikenal dengan nama PDN-GW yang fungsinya untuk mengalokasikan suatu IP *address* pada arsitektur UE dan sebagai fungsi dari *filtering*.

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

Policy and Charging Rules Function fungsinya untuk mengontrol *charging* dan juga menangani parameter-parameter dari QOS (*Quality of Service*).

7. Home Subscription Server

Home Subscription Server dengan fungsinya sebagai penyimpanan dari semua data yang nantinya data tersebut berisi tentang informasi layanan untuk *user* dan identitas dari *user* tersebut. Dimana *authentication user* disimpan pada AuC (*Authentication Center*) (M. Rachmat, et al., 2013).



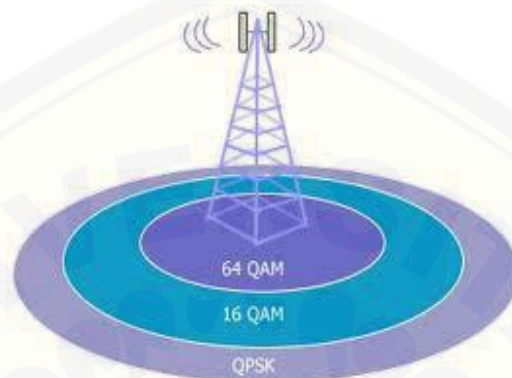
Gambar 2.3 Arsitektur LTE (Sumber: Uke Kurniawan, et al., 2012)

2.2.3 Adaptive Modulation and Coding

AMC atau kepanjangan dari *Adaptive Modulation and Coding* adalah salah satu pendukung dari teknologi dari jaringan LTE sebagai bentuk dari suatu link adaption dimana pengulangan yang dikirim dari user digunakan sebagai penentuan skema dari sistem *coding* (pengkodean) maupun modulasi berdasarkan pada penggunaan standarisasi CQI atau kepanjangan dari Channel Quality Indikator. Jika dilihat lebih efektif sistem tersebut bisa digunakan sebagai pengaturan dari keseimbangan (*balance*) untuk memenuhi kebutuhan besar *bandwidth* serta meningkatkan kualitas dari sistem sambungan (*link quality*). Atau dapat juga diukur dengan parameter kualitas *Signal to Noise Ratio* (SNR). Semakin baik kualitas *channel*, sehingga dapat dikatakan *user* bisa menggunakan orde modulasi dan maksimal range sistem pengkodean yang tinggi untuk dapat memberikan kapasitas *rate* yang lebih besar dan mencakupi. Sebaliknya jika kondisi *channel* kurang stabil atau bagus, maka digunakan orde modulasi dan

sistem pengkodean yang kecil agar dapat tetap menjaga kekonstannya kualitas dari sambungan.

Modulasi dari sistem teknologi komunikasi dapat diatur mulai dari modulasi 64 QAM, 16 QAM, QPSK, seperti yang terlihat pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Ilustrasi Modulasi Adaptif (Sumber: Subuh Pramono, 2013)

Pada proses sistem pengkodean dan modulasi dilakukan setiap *time transmit interval* yang tujuannya dapat memaksimalkan *data rate user equipment* dengan kondisi dan kualitas kanal yang baik. Adaptive Modulation and Coding terdiri dari 2 komponen penting yaitu skema modulasi dan *code rate* (Uke Kurniawan, et al., 2012).

2.2.3.1 Skema Sistem Modulasi LTE

Penjelasan ini berdasarkan pada 3GPP LTE yang mendukung skema sistem modulasi antara lain yaitu QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Penjelasan dari masing skema sistem modulasi LTE, yaitu sebagai berikut yang pertama ; QPSK atau singkatan dari *Quadrature Phase Shift Keying* terdiri dari 4 simbol dimana dari tiap simbolnya hanya terdiri dari 2 bit. Sistem modulasi QPSK ini digunakan saat keadaan kanal antara pengirim (*transmitter*) dengan penerima (*receiver*) dalam keadaan atau kondisi buruk (nilai SNRnya rendah). Modulasi QPSK ini memiliki kelebihan yaitu lebih tahan terhadap adanya gangguan atau interferensi sedangkan kekurangannya yaitu laju pengiriman bit yang sedikit rendah. Sistem modulasi kedua yaitu 16 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) yang terdiri dari 16 simbol dimana terdiri atas 4 bit. Penjelasan sistem modulasi ketiga yaitu 64 QAM yang terdiri dari 64 simbol dimana setiap dari masing – masing simbol

terdiri atas 6 bit. Modulasi 64 QAM ini akan digunakan saat keadaan kondisi kanal antara *transmitter* dan *receiver* memiliki nilai yang cukup baik (SNR tinggi). Modulasi 64 QAM ini memiliki kelebihan yaitu dapat melayani kecepatan (laju) akases data yang maksimal , sedangkan untuk kelemahannya yaitu sering terjadi kesalahan disebabkan pada modulasi tersebut lebih sensitif dengan adaanya *noise*, interferensi, kesalahan estimasi kanal.

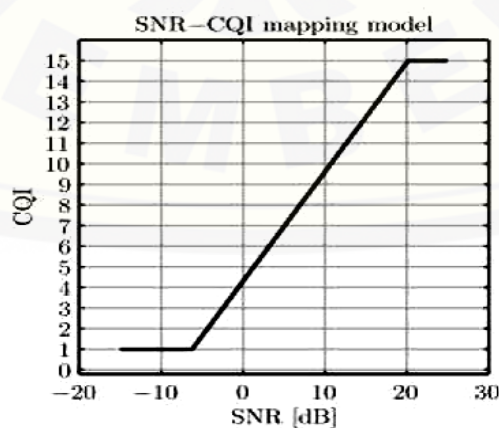
2.2.3.2 Code Rate

Code rate menentukan besar kecilnya bit *redundancy* pada bit informasi. Pemilihan *code rate* berdasarkan kondisi kanal, pada saat kondisi kanal buruk dapat digunakan *code rate* yang kecil dan pada saat kondisi kanal baik dapat digunakan *code rate* yang besar. Untuk kasus pada LTE nilai *code rate* yang paling besar yaitu 1 (tanpa *redundancy*) dan yang paling kecil 1/3 (setiap bit informasi mempunyai 2 bit *redundancy*) (Uke Kurniawan, et al., 2012).

2.2.3.3 SINR Minimum AMC

Dalam skema AMC pengalokasian skema modulasi berdasarkan nilai *signal to interference noise ratio* (SINR). Semakin besar orde modulasi maka SINR minimumnya juga semakin besar. Berikut tabel standart SINR minimum *adaptive modulation and coding* (AMC).

Teknik pengkoreksian error dapat diterapkan pada teknologi LTE untuk mengurangi kebutuhan nilai minimum dari SNR serta memaksimalkan *throughput*, seperti terlihat pada gambar 2.5 hubungan CQI dengan SNR di bawah ini.



Gambar 2.5 Grafik Hubungan CQI dan SNR (Sumber: Uke Kurniawan, 2012)

Untuk menentukan jenis modulasi dan *coding rate* yang digunakan, maka dari pengukuran nilai CQI tersebut dikonversi menjadi nilai modulasi. Adapun nilai CQI tersebut dapat dikonversi dengan menggunakan tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 *Index CQI Terhadap Perubahan Jenis Modulasi dan Coding Rate*

CQI	Modulasi	Coding	Efisiensi (bit/Hz)
0			
1	QPSK	78/1024	0,1523
2	QPSK	120/1024	0,2344
3	QPSK	193/1024	0,3770
4	QPSK	308/1024	0,6016
5	QPSK	449/1024	0,8770
6	QPSK	602/1024	1,1758
7	16 QAM	378/1024	1,4766
8	16 QAM	490/1024	1,9141
9	16 QAM	616/1024	2,4063
10	64 QAM	466/1024	2,4063
11	64 QAM	567/1024	3,3223
12	64 QAM	666/1024	3,9023
13	64 QAM	772/1024	4,5234
14	64 QAM	873/1024	5,1152
15	64 QAM	948/1024	5,5547

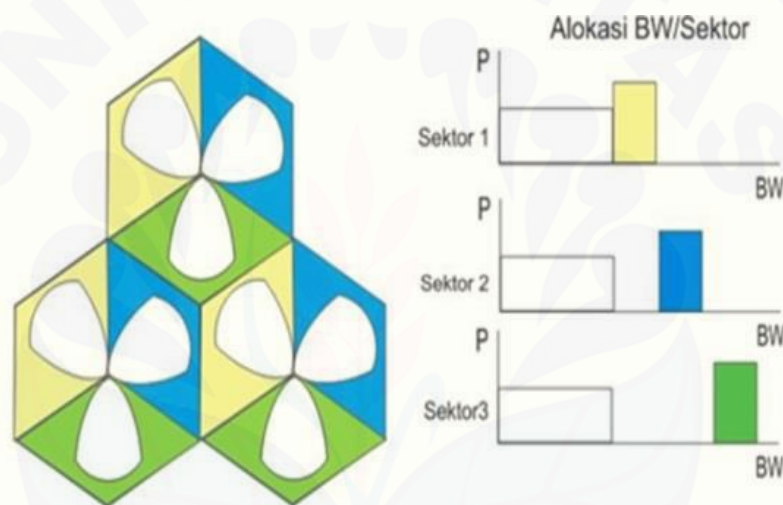
(Sumber: Muhammad Kawser, 2012)

2.3 Manajemen Interferensi

2.3.1 *Fractional Frequency Reuse*

Fractional Frequency Reuse (FFR) merupakan skema frekuensi reuse di mana cakupan dibagi menjadi dua area yaitu *cell centre* dan *cell edge*. Area *Cell centre* yaitu area cakupan sel dengan jari – jari sel R_0 , dengan menggunakan frekuensi reuse 1 dan menggunakan daya pancar P_0 . *Cell edge* adalah area cakupan sel dengan jari-jari sel R , dengan menggunakan skema frekuensi reuse

lebih besar dari satu dan menggunakan daya pancar P , di mana daya pancar P lebih besar daripada P_0 . Penggunaan skema sistem FFR dapat menghasilkan kualitas yang baik pada pengguna yang ada pada area *cell edge*. Pada penggunaan skema *fractional frequency reuse* memiliki kelebihan yaitu tingkat performa yang baik pada *user* di area pinggir *cell*, *intercell interference* yang rendah. Sedangkan kelemahannya yaitu terdapat setengah bagian *bandwidth* yang tidak terpakai pada tiap sektornya, memiliki maksimal kapasitas per sektornya kecil (Uke Kurniawan, et al., 2012). Lebih jelasnya penerapan dari skema *Fractional Frequency Reuse* terlihat pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 *Fractional Frekuensi Reuse* (Sumber: Uke Kurniawan, et al., 2012)

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

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

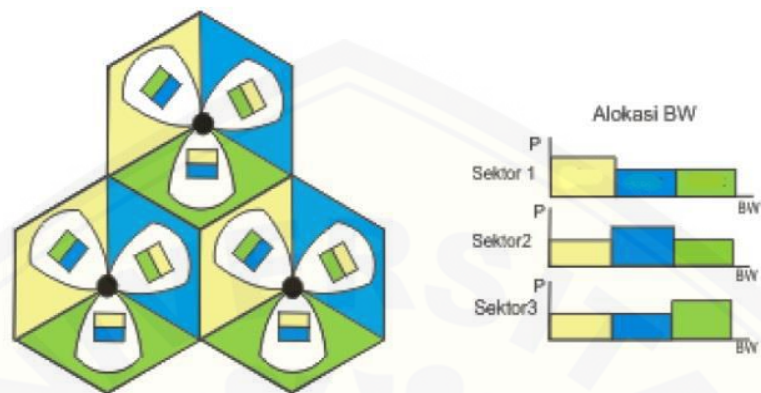
Alokasi daya pancar dan BW					
Sektor	Area	Power (Watt)	BW Channel	Frekuensi DL	Color
1,2,3	Cell Centre	10	5 MHz	2620-2625 MHz	
1		30	3 MHz	2626-2629 MHz	Yellow
2	Cell Edge	30	3 MHz	2629-2632 MHz	Blue
3		30	3 MHz	2632-2635 MHz	Green

(Sumber: Uke Kurniawan, et al., 2012)

2.3.2 *Soft Frequency Reuse*

Soft Frequency Reuse (SFR) adalah skema frekuensi reuse di mana area cakupan dibagi menjadi dua area yaitu *cell centre* dan *cell edge*. *Cell centre* adalah area cakupan sel dengan jari – jari sel R_0 , menggunakan sebagian *subband bandwidth* dengan menggunakan daya pancar P_0 . *Cell edge* adalah area cakupan sel dengan jari-jari sel R , menggunakan skema *frekuensi reuse* lebih besar dari satu dan menggunakan daya pancar P , di mana P lebih besar dari P_0 . Dalam skema *soft frequency reuse* sangat dibutuhkan *frequency planning* dan *power planning* untuk mendapatkan performansi yang bagus. Pada penggunaan skema *Soft Frequency Reuse* terdapat beberapa kelebihan, yaitu intercell interference yang rendah, pada bagian pinggir sel memiliki performansi yang bagus, setiap sektor bisa memakai semua *bandwidth*, dan kapasitas per sektor besar. Sedangkan untuk kelemahannya, yaitu pada perencanaan frekuensi yang lebih kompleks dan membutuhkan *frequency scheduling* untuk mengurangi interferensi antarsektor (Uke Kurniawan, et al., 2012).

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



Gambar 2.7 *Soft Frequency Reuse* (Sumber: Uke Kurniawan, et al., 2012)

Berikut pada tabel 2.4 merupakan contoh alokasi daya pancar dan *bandwidth* frekuensi dengan menggunakan skema *Soft Frequency Reuse*.

Tabel 2.4 Alokasi Daya Pancar dan *Bandwidth Soft Frequency Reuse*

Alokasi daya pancar dan BW					
Sektor	Area	Power (Watt)	BW Channel	Frekuensi DL (MHz)	Color
1	Cell Centre	10	10 MHz	2625-2635	Green, Blue
2				2620-2625 & 2630-2635	Yellow, Green
3				2620-2630	Blue, Yellow
1	Cell Edge	30	5 MHz	2620-2625	Yellow
2				2625-2630	Blue
3				2630-2635	Green

(Sumber: Uke Kurniawan, et al., 2012)

2.4 Perencanaan Kapasitas

Perencanaan kapasitas merupakan suatu perancangan jaringan seluler untuk dapat mengetahui jumlah *site* atau BTS dengan mengakomodir seluruh kebutuhan trafik layanan pelanggan yang ada suatu wilayah tertentu. Perencanaan

kapasitas mempunyai tahap meliputi perhitungan estimasi jumlah pelanggan, perhitungan *throughput* layanan dan *network throughput*, perhitungan kapasitas sel, perhitungan jari-jari sel dan luas cakupan sel, serta perhitungan jumlah sel (Uke Kurniawan, et al., 2012).

2.4.1 Estimasi Jumlah Pelanggan

Saat akan melakukan suatu perencanaan jaringan dengan kapasitas harus disertai pertimbangan kebutuhan pelanggan di masa yang akan datang. Dengan adanya kebutuhan pelanggan yang harus dipenuhi tersebut, maka mengantisipasi jumlah pelanggan pada periode tertentu tersebut perlu adanya perhitungan mengenai estimasi (prediksi) jumlah pelanggan. Dalam melakukan perhitungan estimasi jumlah pelanggan dapat digunakan persamaan rumus berikut :

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

Dengan

U_n : data jumlah pelanggan pada tahun ke-n

U_o : data jumlah pelanggan pada tahun saat perencanaan

f_p : faktor pertumbuhan pelanggan

n : jumlah periode tahun saat estimasi (Uke Kurniawan, et al., 2012).

2.4.2 Throughput Layanan

Jaringan yang dirancang harus mampu memberikan throughput minimal untuk setiap layanan agar layanan yang disediakan mampu terakses oleh user. (Wisnu Hendra, et al., 2014). Perhitungan throughput/session diperoleh dari persamaan berikut :

$$\frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} = \text{Session time} \times \text{Session duty ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left[\frac{1}{(1-BLER)} \right] \quad (2.2)$$

Untuk melakukan perhitungan dari persamaan *throughput per session* diatas maka didasari pada parameter data *service model* dengan hak milik dari vendor perusahaan Huawei LTE seperti yang ditampilkan pada tabel 2.5 dibawah ini:

Tabel 2.5 Parameter *Service Model*

<i>Traffics Parameters</i>	<i>Uplink</i>				<i>Downlink</i>			
	<i>Bearer Rate (Kbps)</i>	<i>PPP Session Time (s)</i>	<i>PPP Session Duty Ratio</i>	<i>BLER</i>	<i>Bearer Rate (Kbps)</i>	<i>PPP Session Time (s)</i>	<i>PPP Session Duty Ratio</i>	<i>BLER</i>
VoIP	26.9	80	0.4	1%	26.9	80	0.4	1%
Video <i>Phone</i>	62.53	70	1	1%	62.53	70	1	1%
Video <i>Conference</i>	62.53	1800	1	1%	62.53	1800	1	1%
<i>Real Time Gaming</i>	31.26	1800	0.2	1%	125.06	1800	0.4	1%
<i>Streaming Media</i>	31.26	3600	0.05	1%	250.11	3600	0.95	1%
IMS <i>Signaling</i>	15.63	7	0.2	1%	15.63	7	0.2	1%
Web	62.53	1800	0.05	1%	250.11	1800	0.05	1%

<i>Browsing</i>								
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)

Dengan penjelasan dari persamaan tersebut yaitu:

- Throughput/session* : nilai yang didapat dari hasil antara bearer rate, session time, session duty, dan block error rate yang ada pada jaringan untuk masing-masing parameter trafik (Kbit)
- Bearer Rate* : data perbandingan yang disediakan oleh IP tiap parameternya (Kbps)
- PPP Session Time* : nilai rata-rata sesi tiap waktunya dari durasi masing masing layanan trafik (s)
- PPP Session Duty Ratio* : nilai rasio data per sesinya yang dikirimkan pada masing-masing layanan trafik
- BLER* : nilai prosentase kesalahan atau *error* saat pengiriman pada masing-masing layanan trafik

2.4.3 *Single User dan Network Throughput*

Dalam menghiung persamaan *single user throughput* harus berdasarkan pada parameter *traffic* model yang berdasarkan tipe daerah morfologinya dari vendor Huawei seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.6 berikut ini :

Tabel 2.6 Parameter *Traffic Model* Berdasarkan Morfologi

<i>User Behavior</i>	Urban		Sub Urban	
	<i>Traffic Penetratio</i>	BHSA	<i>Traffic Penetration</i>	BHSA
	<i>Ratio</i>		<i>Ratio</i>	
VoIP	100%	1.3	50%	1
Video <i>Phone</i>	20 %	0.16	10%	0.1
Video <i>Conference</i>	15%	0.15	10%	0.1
<i>Real Time</i>	20%	0.2	10%	0.1
<i>Gaming</i>	20%	0.2	10%	0.1
<i>Streaming</i>	15%	0.15	5%	0.1
<i>Media</i>	15%	0.15	5%	0.1
IMS <i>Signaling</i>	30%	4	25%	3
Web <i>Browsing</i>	100%	0.4	40%	0.3
File Transfer	20%	0.2	20%	0.2
Email	10%	0.3	10%	0.2
P2P File <i>Sharing</i>	20%	0.3	20%	0.2

(Sumber: Huawei, 2013)

Parameter lainnya yang dibutuhkan untuk melakukan perencanaan kapasitas jaringan adalah parameter *peak average to ratio*. Parameter *Peak to average ratio* adalah asumsi prosentase kelebihan beban *traffic* pada suatu jaringan komunikasi. Nilai pada parameter *peak to average ratio* berbeda-beda

tergantung tipe daerah area morfologinya pada penjelasan ini yaitu area dense urba, urban maupaun sub urban. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.7 dibawah ini:

Tabel 2.7 *Peak to Average Ratio* Berdasarkan Morfologi

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

(Sumber: Huawei, 2013)

Setelah diketahui nilai-nilai dari parameter-parameter *traffic model* dan *peak to average ratio* berdasarkan data dari vendor Huawei seperti yang terlihat pada tabel diatas, maka tahapan perencanaan kapasitas adalah melakukan perhitungan *single user throughput*. Untuk melakukan perhitungan dari tahap *single user throughput* pada kondisi jam sibuk dapat diperoleh dengan persamaan rumus sebagai berikut :

$$SUT = \frac{(\sum \frac{Throughput}{Session} \times BHSA \times Penetration\ rate \times (1+PAR))}{3600} \quad (2.3)$$

Dengan

SUT : *single user throughput*, hasil kali antara *throughput* per *session*, layanan pada jam sibuk, layanan daerah tinjauan dan prosentase estimasi trafik (Kbps)

BHSA : inisiasi penggunaan layanan selama jam sibuk masing-masing parameter trafik

Penetration rate : penetrasi penggunaan layanan pada daerah tinjauan pada masing-masing trafik

Peak to Average Ratio : prosentase estimasi lonjakan trafik berdasarkan area morfologi

Kemudian untuk menentukan kebutuhan *throughput* keseluruhan pada daerah yang ditinjau dengan total jumlah estimasi pelanggan maka dilakukan perhitungan *network throughput* arah *uplink* dan *downlink* dapat diperoleh dengan persamaan rumus sebagai berikut :

$$Network\ Throughput_{UL/DL} = Total\ User \times SUT_{UL/DL} \quad (2.4)$$

Dengan

Total Target *User* : jumlah pelanggan berdasarkan forecasting estimasi berdasarkan data kependudukan suatu wilayah tinjauan

SUT : jumlah *throughput* tiap *user* arah *uplink* dan *downlink* (Kbps)

2.4.4 Kapasitas Sel

Kapasitas sel dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut dari arah *uplink* dan *downlink* berikut :

$$\text{Kapasitas sel}_{UL + CRC} = (168 - 24) \times Cb \times Cr \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.5)$$

$$\text{Kapasitas sel}_{DL + CRC} = (168 - 36 - 12) \times Cb \times Cr \times Nrb \times C \times 1000 \quad (2.6)$$

Dengan

CRC (*Cyclic Redudancy Check*) = 24

Cb (Code Bits) : efesiensi modulasi

Cd (Code Rate) : *channel coding rate*

Nrb : jumlah *resource block* yang digunakan

C : mode antenna MIMO

Dalam menentukan jumlah *resource block* tergantung dengan besar *bandwidth* yang digunakan pada sistem jaringan LTE. Berikut tabel yang menunjukkan *bandwidth* yang digunakan terhadap nilai *resource block* seperti yang terlihat pada tabel 2.8 dibawah ini:

Tabel 2.8 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)

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menghitung *throughput per cell* adalah: menghitung *uplink* serta *downlink* layer *throughput*, setelah itu menghitung jumlah *cell throughput* dari teknik *frekuensi reuse* FFR dan SFR yang didasarkan pada area *cell Centre* dan *cell Edge*. Setelah itu akan didapatkanlah nilai *throughput per cell*.

2.5 Perencanaan Cakupan

Pada perencanaan jaringan teknologi komunikasi seluler harus mempertimbangkan gain dan loss dari spesifikasi perangkat. Pada perencanaan cakupan ini, dimana model propagasi yang akan digunakan pada saat perancangan jaringan nantinya juga akan mempengaruhi dari hasil radius sel. Dalam perencanaan cakupan ini, pertama yang harus dilakukan untuk melakukan perancangan adalah dengan menghitung nilai *link budget*, dimana dari *link budget* dijadikan acuan untuk mengetahui nilai *maximum allowed path loss* (MAPL) antara pengirim dan penerima.

2.5.1 Perhitungan Link Budget

Pada tahap perhitungan *link budget* mempunyai tujuan untuk memperkirakan dan mengidentifikasi nilai maksimum pathloss atau MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) yang diperbolehkan antara perangkat UE terhadap eNode B. *Path loss* maksimum yang didapat nantinya akan dilakukan tahapan perhitungan radius sel suatu eNode B untuk suatu lingkup radio tertentu dengan model propagasi yang dikehendaki sebagai antena pemancar, dimana radius sel ini berdasarkan kondisi area morfologinya seperti dense urban, urban, urban maupun rural. Pada hasil perhitungan *maximum pathloss* didasari pada pengukuran SINR dari arah *uplink* maupun *downlink*. Faktor pada tahap perhitungan link budget antara lain seperti *loss* penetrasi gedung, *loss feeder*, *gain* antena, dan interferensi radio. Radius sel juga dapat digunakan untuk menghitung total jumlah *site* yang diperlukan dalam menyediakan cakupan yang tercakupi yang sesuai dengan luas area cakupannya (Lingga Wardhana, et al., 2014).

a. MAPL Uplink

Untuk arah uplink *Power Receiver* digambarkan sebagai *Receiver Sensitivity* (RS) dari *User Equipment* (UE) arah *uplink*. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

$$RSeNodeB = SINR + TNeNodeB + NfeNodeB \quad (2.7)$$

Dengan

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 *Minimum Signal Reception Strenght* (MSRS) *uplink* adalah sebagai berikut :

$$\text{MSRS} = \text{RSeNodeB} + \text{Lcable} + \text{IM} + \text{GR} \quad (2.8)$$

Dengan

- 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* adalah sebagai berikut :

$$\text{MAPLuplink} = \text{EIRPsubcarrier} - \text{MSRS} - \text{PL} - \text{SF} \quad (2.9)$$

Dengan

- 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* (EIRP) *subcarrier* adalah sebagai berikut :

$$\text{EIRPsubcarrier} = \text{Psubcarrier} + \text{GT} - \text{Ltcable} \quad (2.10)$$

Dengan

- Psubcarrier : *Subcarrier power transmisi* (dBm)
 GT : *gain antena transmitter* (dBi)
 Ltcable : *loss cable transmitter* (dB)

Sedangkan untuk persamaan *Receiver Sensitivity* (SR) arah *downlink*

adalah sebagai berikut :

$$RS_{ue} = TN + NF_{ue} + SINR \quad (2.11)$$

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 *Minimum Signal Reception Strenght* (MSRS) *downlink* adalah sebagai berikut :

$$MSRS = RS_{ue} + LR_{body} + IM \quad (2.12)$$

Dengan

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 *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) untuk arah *downlink* adalah sebagai berikut :

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

Dengan

$MAPL_{downlink}$: *Maximum Allowable Path Loss downlink* (dB)

$EIRP_{subcarrier}$: *Equivalent Isotropic Radiated Power Subcarrier* (dBm)

MSRS : *Minimum Signal Reception Strenght* (dBm)

PL : *Penetration Loss* (dB)

SF : *Shadow Fading margin* (dB)

2.5.2 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 dan sub urban dengan persamaan sebagai berikut :

$$PL = 46,3 + 33,9(\log f_c) + 13,82 \log h_T - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log d + C_M \quad (2.14)$$

Dengan

- f : frequency transmisi
- h_R : tinggi antena receiver
- d : jarak (km)
- h_T : tinggi antena transmitter
- a : faktor koreksi tinggi antena
- CM : urban = 3 dB
sub urban = 0 dB

2.6 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. *Study* yang disuguhkan tersebut 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, et al., 2014).

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pembahasan pada bab metode penelitian ini akan dijelaskan beberapa sub bab pokok yaitu tahap penelitian, tempat penelitian, metode penelitian dalam pengambilan data, perancangan sistem dalam penelitian yang dilakukan, dan tahap perencanaan dari awal penelitian dilakukan, menganalisa hasil dari penelitian dengan disertai kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

3.1 Tahap Penelitian

Pada penyusunan tugas akhir ini dimulai dengan tahap penelitian untuk dapat memperoleh informasi harus melalui beberapa tahapan. Tahapan – tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini pada gambar 3.1 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, arsitektur LTE, dan literatur tentang perencanaan jaringan LTE segi kapasitas dan cakupan serta metode manajemen interferensi. Tahapan berikutnya yaitu menentukan lokasi yang akan dilakukan perencanaan di Kota Malang. Dengan penentuan daerah seperti morfologinya pada tiap kecamatan seperti area urban, suburban, rural, dll. Penentuan daerah tersebut dari hasil dengan pengumpulan data berupa luas wilayah dan jumlah penduduk untuk memprediksi area yang akan dirancang LTE. Tahapan berikutnya yaitu melakukan perencanaan sistem jaringan LTE dari segi kapasitas dan cakupan yang dilakukan dengan analisis perhitungan serta melakukan perhitungan metode manajemen interferensi. Tahapan selanjutnya yaitu perancangan simulasi untuk merencanakan jaringan LTE dalam tugas akhir ini. Adapun perancangan simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* Atoll dan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk perancangan berdasarkan kapasitas dan cakupan seperti frekuensi kerja yang digunakan sebesar 1800 MHz mode FDD. Tahapan berikutnya melakukan pengambilan data pada *software* Atoll dan pembahasan terkait perencanaan jaringan LTE berdasarkan kapasitas dan cakupan pada frekuensi 1800 MHz dengan metode manajemen interferensi dari perhitungan maupun simulasi. Tahapan akhir dalam penelitian yaitu memperoleh kesimpulan berdasarkan hasil simulasi dengan *software* Atoll yang telah dilakukan.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian alat tentang “Analisis Perencanaan Kapasitas dan Cakupan Jaringan *Long Term Evolution* dengan Metode *Fractional Frequency Reuse* dan *Soft Frequency Reuse*” ini akan dilakukan di Kota Malang.

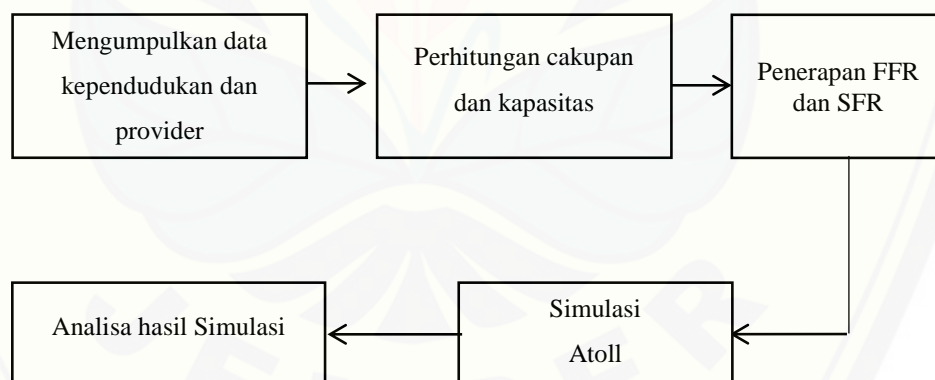
3.3 Metode Penelitian

Penelitian dengan judul “Analisis Perencanaan Kapasitas dan Cakupan Jaringan LTE Dengan Metode *Fractional Frequency Reuse* dan *Soft Frequency*

Reuse” dilakukan berdasarkan referensi studi pustaka yang mendukung penelitian tugas akhir ini, seperti pengertian dan konsep *Long Term Evolution* (LTE), Arsitektur teknologi jaringan LTE, spesifikasi dan standart LTE, serta konsep perencanaan dengan kapasitas dan cakupan. Dilakukan perencanaan dengan metode metode *fractional frequency reuse* maupun *soft frequency reuse* untuk dapat pemeratakan seluruh area dengan optimal. Selain itu juga dilakukan analisa terhadap parameter-paramete PCI untuk mengetahui dalam perencanaan LTE dengan manajemen interferensi tidak adanya interferensi dari site yang akan dirancang jaringan LTE. Selanjutnya menetapkan kesimpulan dari hasil analisa pembahasan dan data yang diperoleh pada saat simulasi.

3.4 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 diagram blok pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan blok diagram diatas dapat diketahui langkah pertama pada penelitian yaitu mengumpulkan data kependudukan daerah yang akan dilakukan perencanaan dan data *provider* yang digunakan untuk perhitungan. Berikut ini data jumlah kependudukan wilayah Kota Malang tiap kecamatan yang didapat dari Badan Pusat Statistik Malang, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Jumlah Penduduk Berdasarkan Kecamatan Kota Malang

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)
1	Kedungkandang	190.346
2	Sukun	193.049
3	Klojen	103.185
4	Blimbing	179.458
5	Lowokwaru	195.778
	Jumlah	861.816

(Sumber: BPS Kota Malang, 2017)

Untuk data luas wilayah tiap kecamatan Kota Malang dapat terlihat seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2 di bawah ini :

Tabel 3.2 Luas Wilayah Berdasarkan Kecamatan Kota Malang

No	Kecamatan	Luas Wilayah (km ²)
1	Kedungkandang	39,89
2	Sukun	20,97
3	Klojen	8,83
4	Blimbing	17,77
5	Lowokwaru	22,60
	Jumlah	110,06

(Sumber: BPS Kota Malang, 2017)

Pada lima kecamatan tersebut dibagi berdasarkan tipe daerah morfologinya yaitu urban, kecamatan Kendungkandang dan Lowokwaru sedangkan untuk sub urban, kecamatan Sukun, Klojen dan Blimbing.

Kemudian data untuk skenario link budget yang didapat *provider* seluler dapat dilihat pada tabel 3.3 dan 3.4 berikut :

Tabel 3.3 Parameter *Link Budget* Arah *Uplink*

GENERAL	TANDA
<i>Bandwidth</i> (MHz)	A
<i>Resource Block</i>	$B=A*0.9/180$
<i>Allocated Resouurc Block</i>	C
USER EQUIPMENT (UE)	TANDA
<i>Max Total Tx Power</i> (dBm)	D
<i>Sub-Carrier Power</i> (dBm)	$E=D-10\log(12*C)$
<i>Tx Body Loss</i>	F
<i>EIRP Subcarrier</i>	$H=D-E-F$
eNode B	TANDA
<i>SINR</i> (dB)	I
<i>UE NoiseFigure</i> (dB)	J
<i>Thermal Noise</i> (dB)	$K= 10 \log (1.38*10^{-23} *290*15000)$
<i>Receiver sensitivity</i> (dBm)	$L= I+J+K$
<i>Receiver Antenna Gain</i> (dBi)	M
<i>UE cable Loss</i> (dB)	N

(Sumber: Data Provider, 2017)

Tabel 3.4 Parameter *Link Budget* Arah *Downlink*

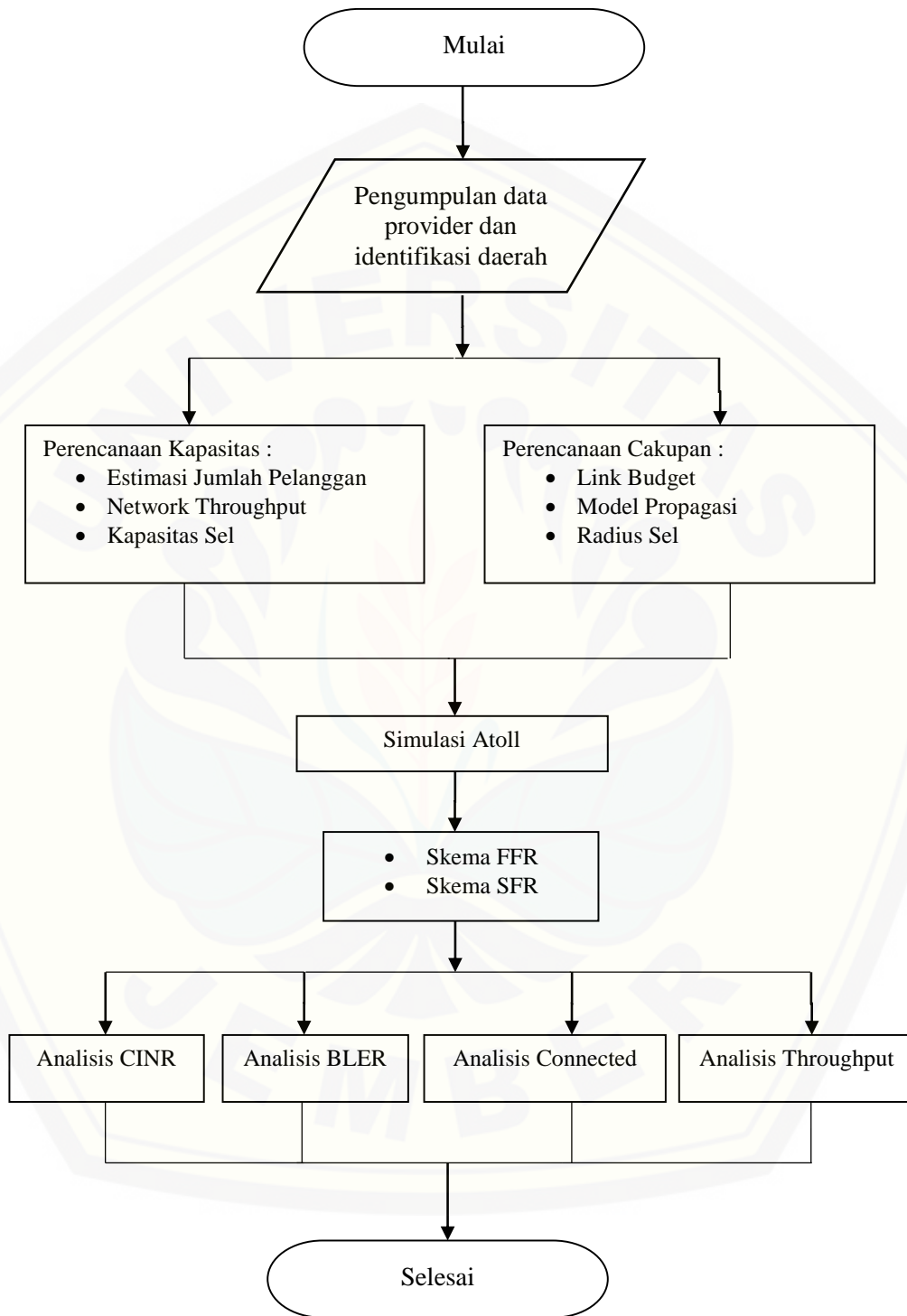
GENERAL	TANDA
<i>Bandwidth</i> (MHz)	A
<i>Resource Block</i>	$B=A*0.9/180$
eNode B	TANDA
<i>Max Total Tx Power</i> (dBm)	C
<i>Sub-Carrier Power</i> (dBm)	$D= C-\log (12*B)$
<i>Cable Loss</i>	E
<i>Antenna Gain</i> (dB)	F
<i>EIRP Subcarrier</i>	$G= D-E+F$
USER EQUIPMENT (UE)	TANDA
SINR	H
<i>UE NoiseFigure</i> (dB)	I
<i>Thermal Noise</i> (dB)	$J= 10 \log (1.38*10^{-23} *290*15000)$
<i>Receiver sensitivity</i> (dBm)	$K= H+I+J$
<i>UE Body Loss</i> (Db)	L
<i>UE cable Loss</i> (dB)	M
<i>Interference Margin</i> (dB)	N
<i>MSRS</i> (dBm)	$O= K+L+M+N$
<i>Penetration Loss</i> (dB)	O
<i>Shadow Fading Margin</i> (dB)	P
<i>Path Loss</i> (dBm)	$Q=G-O-P-Q$

(Sumber: *Data Provider*, 2017)

Setelah memperoleh data kependudukan dan *provider* kemudian melakukan perhitungan cakupan dan kapasitas. Yang mana pada perhitungan cakupan meliputi perhitungan *link budget*. Untuk mengetahui nilai *pathloss* dari sisi *uplink* maupun *downlink*, setelah memperoleh nilai *pathloss* lalu menghitung nilai jarak sel dari model propagasi. Pada penelitian ini menggunakan model propagasi Cost 231 Hatta. Dari nilai jarak sel, kemudian akan dilakukan untuk perhitungan luas cakupan sel dan kemudian akan diperoleh juga jumlah *site*.

Setelah itu akan dilakukan juga perhitungan kapasitas yang meliputi estimasi jumlah pelanggan, *throughput* layanan, *single user* dan *network throughput* serta kapasitas sel. Langkah selanjutnya yaitu penerapan FFR dan SFR untuk manajemen interferensi pada tiap sel tanpa mengurangi kapasitas yang terpenuhi. Dalam melakukan metode penerapan FFR dan SFR dilakukan analisa perhitungan sebagai berikut. Mensimulasikan hasil dari perhitungan dengan Atoll dari awal perencanaan kapasitas dan cakupan serta penerapan FFR dan SFR untuk membandingkan jumlah site yang dibutuhkan. Kemudian membandingkan hasil perhitungan dengan rancangan pada simulasi dengan keluaran jumlah site pada daerah yang dianalisis, perencanaan jaringan ini dari awal hingga kedua metode tersebut untuk mengetahui tingkat interferensi paling rendah dapat disimulasikan dengan parameter PCI seperti CINR, BLER, *Connected User* dan *Throughput*.

3.5 Tahap Perencanaan Simulasi



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan gambar 3.3 *flowchart* diatas untuk melakukan perencanaan dimulai dengan tahapan pertama yang dilakukan pengumpulan berdasarkan data yaitu menentukan daerah dan provider mengetahui daerah berdasarkan morfologinya serta data *existing* seluler pada daerah yang dianalisis. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan berdasarkan kapasitas dan cakupan dalam perencanaan LTE. Parameter perhitungan berdasarkan kapasitas yaitu estimasi jumlah pelanggan, *single user throughput*, *network throughput* serta kapasitas sel. Sedangkan parameter perhitungan berdasarkan cakupan yaitu *link budget*, model propagasi, radius sel. Pada perhitungan kapasitas sel menggunakan metode skema *fractional frequency reuse* (FFR) dan *soft frequency reuse* (SFR) arah *uplink* dan *downlink* untuk memaksimalkan sel daerah yang ditinjau dengan cara manajemen interferensi, sedangkan untuk perhitungan cakupan digunakan model propagasi Cost 231 Hata untuk perancangan di Kota Malang karena perencanaan ini dilakukan pada mode akses FDD 1800 MHz dimana model propagasi ini bekerja pada frekuensi 1500 sampai 2000 MHz yang memiliki modifikasi frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan model Okumura Hata dan cocok untuk melakukan studi kasus penelitian di area perkotaan maupun daerah pinggiran kota. Selanjutnya mensimulasikan perencanaan LTE dengan metode FFR dan SFR menggunakan *software* Atoll. Pada simulasi perencanaan LTE dalam menentukan skema *fractional frequency reuse* dan *soft frequency reuse* dilakukan dengan proses pengulangan frekuensi antar sel agar dapat memaksimalkan cakupan area dan menyediakan kapasitas yang lebih besar. Untuk mensimulasikan perencanaan LTE pada simulasi Atoll skema FFR dan SFR dengan menggunakan penggunaan frekuensi *downlink* dan daya pancar seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, pada simulasi tersebut pengaturan frekuensi dilakukan pada kedua *frequency reuse* tersebut. Berikutnya melakukan proses simulasi analisis pengaruh perencanaan LTE yang telah dilakukan dengan skema metode FFR maupun SFR yaitu CINR, BLER, *Connectect User* dan *Throughput*. Dari prediksi simulasi tersebut akan memunculkan nilai-nilainya dalam bentuk histogram. Pada CINR dilihat dari segi cakupan sedangkan *Connected User* dan *Throughput* dilihat dari segi kapasitas pada perencanaan LTE serta BLER dilihat dari segi kualitas

transmisi suatu daerah baik perencanaan cakupan dan kapasitas untuk mengetahui tingkat interferensi paling rendah dari metode FFR maupun SFR sebagai manajemen interferensi. Untuk semua prediksi simulasi tersebut memiliki standar target kualitas sesuai pada suatu operator jaringan LTE.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Untuk perencanaan LTE Kota Malang menyediakan kapasitas besar dengan menggunakan skema *fractional frequency reuse* arah *downlink* area urban tersedia kapasitas sel sebesar 28.799,976 kbps sedangkan dengan menggunakan skema *soft frequency reuse* terjadi peningkatan kapasitas sel sebesar 35.999,976 kbps. Untuk memaksimalkan area cakupan urban dengan model propagasi Cost Hata menghasilkan radius *cell* arah *downlink* secara perhitungan sebesar 3,51 km.
2. Penggunaan alokasi *Physical Cell Identity* (PCI) dengan skema *fractional frequency reuse* area sub urban nilai rata-rata *Carrier to Interference Noise* sebesar 11,46 dB dan dengan skema *soft frequency reuse* terjadi peningkatan nilai rata-rata sebesar 12,27 dB, yang artinya nilai *Carrier Interference Noise* dari kedua skema *frequency reuse* dikaatakan normal. Dari segi *throughput* dengan skema *fractional frequency reuse* nilai rata-rata sebesar 26.731,26 kbps sedangkan dengan skema *soft frequency reuse* terjadi peningkatan *throughput* rata-rata sebesar 28.921,34 kbps dan pada BLER dengan skema *fractional frequency reuse* area cakupan sub urban sebesar 105,1 terjadi peningkatan cakupan area dengan skema *soft frequency reuse* sebesar 113,6 dengan nilai rata-rata BLER 0,02. Untuk *connected user* dengan skema *soft frequency reuse* jumlah *user* tidak terkoneksi mengalami penurunan sampai 0,6% dibandingkan *fractional frequency reuse*, meskipun dari kedua skema *frequency reuse* tersebut *user* yang tidak terkoneksi sama-sama kecil dikarenakan *throughput* yang dibangkitkan dari kedua *frequency reuse* tersebut besar.

5.2 Saran

Untuk melakukan penelitian selanjutnya disarankan dapat menggunakan model propagasi lain, seperti Okumura Hata dan frekuensi berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldhaibani, J. A., A.Yahya, R.B.Ahmab, Zain, A. M., M.K.Salman, & Edan, R. (2013). On Coverage Analysis for LTE-A Cellular Network. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 492-497.
- Amer, M. (2012). Optimal configuration of Fractional Frequency Reuse System For LTE Cellular Network. *IEEE*, 1-5.
- Bilios, D., Bouras, C., Diles, G., Kokkinos, V., Papazois, A., & Tseliou, G. (t.thn.). A Simulation Framework for the Evaluation of Frequency Reuse in LTE-A Systems.
- Iqbal, M., Wijanto, H., & Kurniawam, U. (2015). ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LONG TERM EVOLUTION MENGGUNAKAN METODE SOFT FREQUENCY REUSE DI KAWASAN TELKOM UNIVERSITY. 1-8.
- Iskandar, & Nuraini, H. (2016). Inter-Cell Interference Coordination with Soft Frequency Reuse Method for LTE Network. *IEEE*, 57-61.
- Kawser, M. T., Hamid, N. I., Hasan, M. N., & Alam, M. S. (2012). Downlink SNR to CQI Mapping for Different Multiple Antenna Techniques in LTE. *International Journal of Information and Electronics Engineering*, 757-760.
- Moges, M. (2016). Inter-Cell Interference Mitigation in LTE Downlink Using Static Interference Coordination: Case of Addis Ababa. 1-7.
- Nst, R. J., Astuti, R. P., & Pambudi, A. D. (t.thn.). ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE) DI KOTA BANDUNG MENGGUNAKAN METODE OPTIMAL FRACTIONAL FREQUENCY REUSE (OFFR) SEBAGAI MANAJEMEN INTERFERENSI.
- Nurhasanah, R., & Usman, U. K. (2015). Analisis Unjuk Kerja Sel Tunggal di Jaringan LTE dengan Teknik Adaptive Soft Frequency Reuse. *Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering*, 305-311.

- Permatasari, A. T., Hafidudin, & Meylani, L. (2016). ANALISIS PERENCANAAN JARINGAN LTE – ADVANCED MENGGUNAKAN METODE FRACTIONAL FREQUENCY REUSE DAN FITUR CARRIER AGGREGATION DI DKI JAKARTA. 1-11.
- S. S, H., & T. C, T. (2015). Adaptive Modulation and Coding for LTE Wireless. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-6.
- Salman, M. I., Ng, C. K., Noordin, N. K., & Ali, B. M. (2013). CQI-MCS Mapping for Green LTE Downlink Transmission. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 74-82.
- Wahyudin, A., & Sakinah. (2016). PERANCANGAN DAN ANALISA PENGELARAN LTE PADA FREKUENSI 700 MHZ DENGAN METODE ADAPTIF MODULATION CODING UNTUK IMPLEMENTASI DIGITAL DIVIDEND DI WILAYAH SUB-URBAN DAN RURAL KABUPATEN BANYUMAS. *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan*, 342-354.



LAMPIRAN

LAMPIRAN

1. Perhitungan *throughput per session masing - masing parameter*

a. *Throughput per session uplink*

- *Throughput Video Phone* = *Session time xSession ratio xBearer rate x* $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 $= 70 \times 1 \times 62.53 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 4421.3131$
- *Throughput Video Conf* = *Session time xSession ratio xBearer rate x* $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 $= 1800 \times 1 \times 62.53 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 113690.9091 \text{ Kbit}$
- *Throughput Real Time* = *Session time xSession ratio xBearer rate x* $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 $= 1800 \times 0.2 \times 31.26 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 11367.2727 \text{ Kbit}$
- *Throughput Streaming* = *Session time xSession ratio xBearer rate x* $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 $= 3600 \times 0.05 \times 31.26 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 5683.6364 \text{ Kbit}$
- *Throughput Signaling* = *Session time xSession ratio xBearer rate x* $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 $= 7 \times 0.2 \times 15.63 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 22.1030 \text{ Kbit}$
- *Throughput Browsing* = *Session time xSession ratio xBearer rate x* $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 $= 1800 \times 0.05 \times 62.53 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 5684.5455 \text{ Kbit}$
- *Throughput FTP* = *Session time xSession ratio xBearer rate x* $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 $= 600 \times 1 \times 140.69 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 85266.6667 \text{ Kbit}$

- *Throughput Email* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 50 \times 1 \times 140.69 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 7105.5556 \text{ Kbit}$
 - *Throughput P2P Sharing* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 1200 \times 1 \times 250.11 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 303163.6364 \text{ Kbit}$
- b. *Throughput per session downlink*
- *Throughput Video Phone* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 70 \times 1 \times 62.53 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 4421.3131$
 - *Throughput Video Conf* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 1800 \times 1 \times 62.53 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 113690.9091 \text{ Kbit}$
 - *Throughput Real Time* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 1800 \times 0.4 \times 125.06 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 90952.7273 \text{ Kbit}$
 - *Throughput Streaming* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 3600 \times 0.95 \times 250.11 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 864016.3636 \text{ Kbit}$
 - *Throughput Signaling* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 7 \times 0.2 \times 15.63 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 22.1030 \text{ Kbit}$
 - *Throughput Browsing* = $\text{Session time} \times \text{Session ratio} \times \text{Bearer rate} \times \left(\frac{1}{1-\text{BLER}}\right)$
 $= 1800 \times 0.05 \times 250.11 \times \left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 $= 22737.2727 \text{ Kbit}$

- *Throughput FTP* = *Session time* x *Session ratio* x *Bearer rate* x $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 = 600 x 1 x 750.34 x $\left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 = 454751.5152 Kbit
- *Throughput Email* = *Session time* x *Session ratio* x *Bearer rate* x $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 = 15 x 1 x 750.34 x $\left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 = 11368.7879 Kbit
- *Throughput P2P Sharing* = *Session time* x *Session ratio* x *Bearer rate* x $\left(\frac{1}{1-BLER}\right)$
 = 1200 x 1 x 750.34 x $\left(\frac{1}{1-1\%}\right)$
 = 909503.0303 Kbit

2. Perhitungan *single user throughput* masing- masing parameter

a. *Single User Throughput uplink* Urban

- *SUT Video Phone* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 4421.3131 x 0.16 x 20% x (1+20%)
 = 169.7784Kbit
- *SUT Video Conf* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 113690.9091 x 0.15 x 15% x (1+20%)
 = 3069.6545 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 x 0.2 x 20% x (1+20%)
 = 545.6291 Kbit
- *SUT Streaming* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 5683.6364 x 0.15 x 15% x (1+20%)
 = 153.4582 Kbit
- *SUT Singnaling* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 22.1030 x 4 x 30% x (1+20%)
 = 31.8284 Kbit

- SUT *Browsing* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 5684.6364 x 0.4 x 100% x (1+20%)
 = 2728.5818 Kbit
 - SUT *FTP* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 85266.6667 x 0.2 x 20% x (1+20%)
 = 4092.8000 Kbit
 - SUT *Email* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 7105.5556 x 0.3 x 10% x (1+20%)
 = 255.8000 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 x 0.3 x 20% x (1+20%)
 = 21827.7818 Kbit
- b. *Single User Throughput uplink Sub Urban*
- SUT *Video Phone* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 4421.3131 x 1 x 50% x (1+10%)
 = 48.6344 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 x 0.1 x 10% x (1+10%)
 = 1250.6000 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 x 0.1 x 10% x (1+10%)
 = 125.0400 Kbit
 - SUT *Streaming* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 5683.6364 x 0.1 x 5% x (1+10%)
 = 31.2600 Kbit

- SUT Singnaling = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 22.1030 x 3 x 25% x (1+10%)
 = 18.2350 Kbit
 - SUT Browsing = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 5684.6364 x 0.3 x 40% x (1+10%)
 = 750.3600 Kbit
 - SUT FTP = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 85266.6667 x 0.2 x 20% x (1+10%)
 = 3751.7333Kbit
 - SUT Email = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 7105.5556 x 0.2 x 10% x (1+10%)
 = 156.3222 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 x 0.2 x 20% x (1+10%)
 = 13339.2000 Kbit
- c. Single User Throughput downlink Urban
- SUT Video Phone = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 4421.3131 x 0.16 x 20% x (1+20%)
 = 169.7784 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 x 0.15 x 15% x (1+20%)
 = 3069.6545 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 x 0.2 x 20% x (1+20%)
 = 4365.7309 Kbit

- SUT *Streaming* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $864016.3636 \times 0.15 \times 15\% \times (1+20\%)$
 = 23328.4418 Kbit
 - SUT *Singnaling* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $22.1030 \times 4 \times 30\% \times (1+20\%)$
 = 31.8284 Kbit
 - SUT *Browsing* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $22737.2727 \times 0.4 \times 100\% \times (1+20\%)$
 = 10913.8909 Kbit
 - SUT *FTP* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $454751.5152 \times 0.2 \times 20\% \times (1+20\%)$
 = 21828.0727 Kbit
 - SUT *Email* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $11368.7879 \times 0.3 \times 10\% \times (1+20\%)$
 = 409.2764 Kbit
 - SUT *P2P Sharing* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $909503.0303 \times 0.3 \times 20\% \times (1+20\%)$
 = 65484.2182 Kbit
- d. *Single User Throughput downlink Sub Urban*
- SUT *Video Phone* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $4421.3131 \times 1 \times 50\% \times (1+10\%)$
 = 48.6344 Kbit
 - SUT *Video Conf* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = $113690.9091 \times 0.1 \times 10\% \times (1+10\%)$
 = 1250.6000 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 x 0.1 x 10% x (1+10%)
 = 1000.4800 Kbit
- SUT *Streaming* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 864016.3636 x 0.1 x 5% x (1+10%)
 = 4752.0900 Kbit
- SUT *Singnaling* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 22.1030 x 3 x 25% x (1+10%)
 = 18.2350 Kbit
- SUT *Browsing* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 22737.2727 x 0.3 x 40% x (1+10%)
 = 3001.3200 Kbit
- SUT *FTP* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 454751.5152 x 0.2 x 20% x (1+10%)
 = 20009.06667 Kbit
- SUT *Email* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 11368.7879 x 0.2 x 10% x (1+10%)
 = 250.1133 Kbit
- SUT *P2P Sharing* = $\left(\sum \frac{\text{Throughput}}{\text{Session}} \times \text{BHSA} \times \text{Penetration rate} \times (1 + \text{PAR})\right)$
 = 909503.0303 x 0.2 x 20% x (1+10%)
 = 40018.1333 Kbit

3. Perhitungan *Single User Throughput busy hour*

a. SUT *busy hour uplink* Sub Urban

$$\begin{aligned} \text{SUT busy hour} &= \Sigma \text{ SUT tiap parameter trafik}/3600 \text{ sec} \\ &= 19949.6072/3600 \\ &= 5.5416 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

b. SUT *busy hour downlink* Sub Urban

$$\begin{aligned} SUT \text{ busy hour} &= \Sigma \text{ SUT tiap parameter trafik}/3600 \text{ sec} \\ &= 70826.8950/3600 \\ &= 19.6741 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

4. Perhitungan *Network Throughput*

a. *Network Throughput uplink* Sub Urban

$$\begin{aligned} Network \text{ Throughput} &= \text{Total User} \times SUT_{UL/DL} \\ &= 107430 \times (5.542 \times 10^3) \\ &= 595329528.9 \text{ bps} \\ &= 595.3295 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

b. *Network Throughput downlink* Sub Urban

$$\begin{aligned} Network \text{ Throughput} &= \text{Total User} \times SUT_{UL/DL} \\ &= 107430 \times (19.6741 \times 10^3) \\ &= 2113592592 \text{ bps} \\ &= 2113.5926 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Skema *Soft Frequency Reuse*

a. *SFR uplink*

$$\begin{aligned} \text{Kapabilitas sel}_{Urban \text{ UL}+CRC} &= (168 - 24) \times \text{code rate} \times N_{rb} \times C \times 1000 \\ \text{Kapabilitas sel}_{UL \text{ (cell centre)}} &= (168 - 24) \times 4 \times (1/2) \times 50 \times 2 \times 1000 - 24 \\ \text{Kapabilitas sel}_{UL \text{ (cell edge)}} &= \frac{(168 - 24) \times 4 \times (1/2) \times 50 \times 2 \times 1000 - 24}{2} + \\ &= 57599976 \text{ bps} \\ &= 57599.976 \text{ Kbps} = 57.60 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

b. *SFR downlink*

$$\begin{aligned} \text{Kapabilitas sel}_{Urban \text{ DL}+CRC} &= (168 - 36 - 12) \times \text{code rate} \times N_{rb} \times C \times 1000 \\ \text{Kapabilitas sel}_{DL \text{ (cell centre)}} &= (168 - 36 - 12) \times 6 \times (1/2) \times 50 \times 2 \times 1000 - 24 \\ \text{Kapabilitas sel}_{DL \text{ (cell edge)}} &= \frac{(168 - 36 - 12) \times 6 \times (1/2) \times 50 \times 2 \times 1000 - 24}{2} + \\ &= 71999976 \text{ bps} \\ &= 71999.976 \text{ Kbps} = 71.00 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

6. Perhitungan MAPL

a. Perhitungan radius *maximum pathloss* arah *uplink* daerah sub urban

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

$$132,55 = 46,3 + 33,9 (\log 1.800) - 13,82 \log 30 - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log 30) \log d + 0$$

$$132,55 = 46,3 + 110,35 - 20,413 - 1,036 + (44,9 - 9,67) \log d + 0$$

$$132,55 = 135,201 + 35,23 \log d$$

$$132,55 - 135,201 = 35,23 \log D$$

$$-2,651 = 35,23 \log D$$

$$\log d = \frac{-2,651}{35,23}$$

$$\log d = -0,075$$

$$D = 0,692 \text{ km}$$

b. Perhitungan radius *maximum pathloss* arah *downlink* daerah sub urban

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

$$157,42 = 46,3 + 33,9 (\log 1.800) - 13,82 \log 30 - a(h_R) + (44,9 - 6,55 \log 30) \log d + 0$$

$$157,42 = 46,3 + 110,35 - 20,413 - 1,036 + (44,9 - 9,67) \log d + 0$$

$$157,42 = 135,201 + 35,23 \log d$$

$$157,42 - 135,201 = 35,23 \log D$$

$$22,219 = 35,23 \log D$$

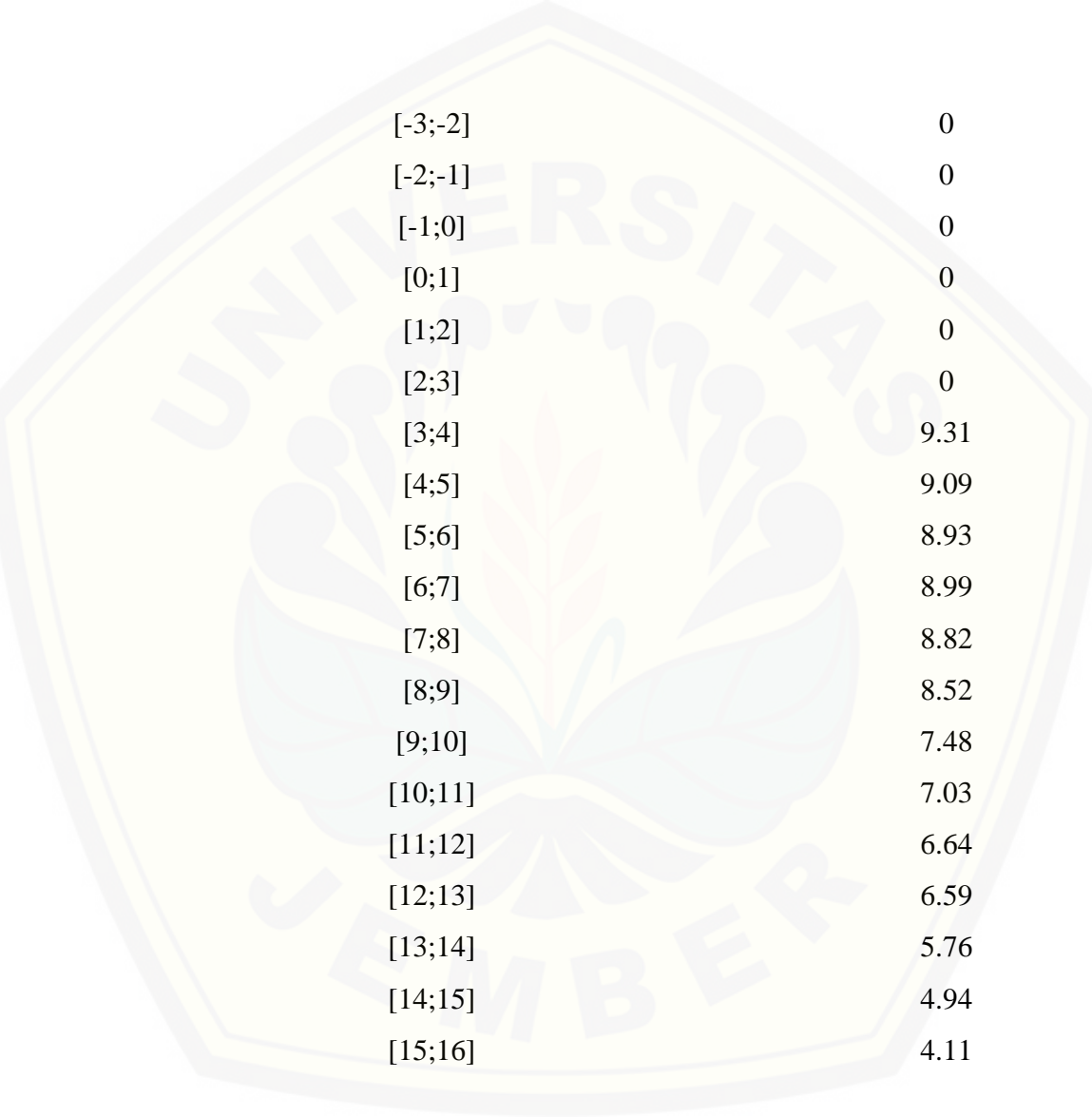
$$\log d = \frac{22,219}{35,23}$$

$$\log d = 0,631$$

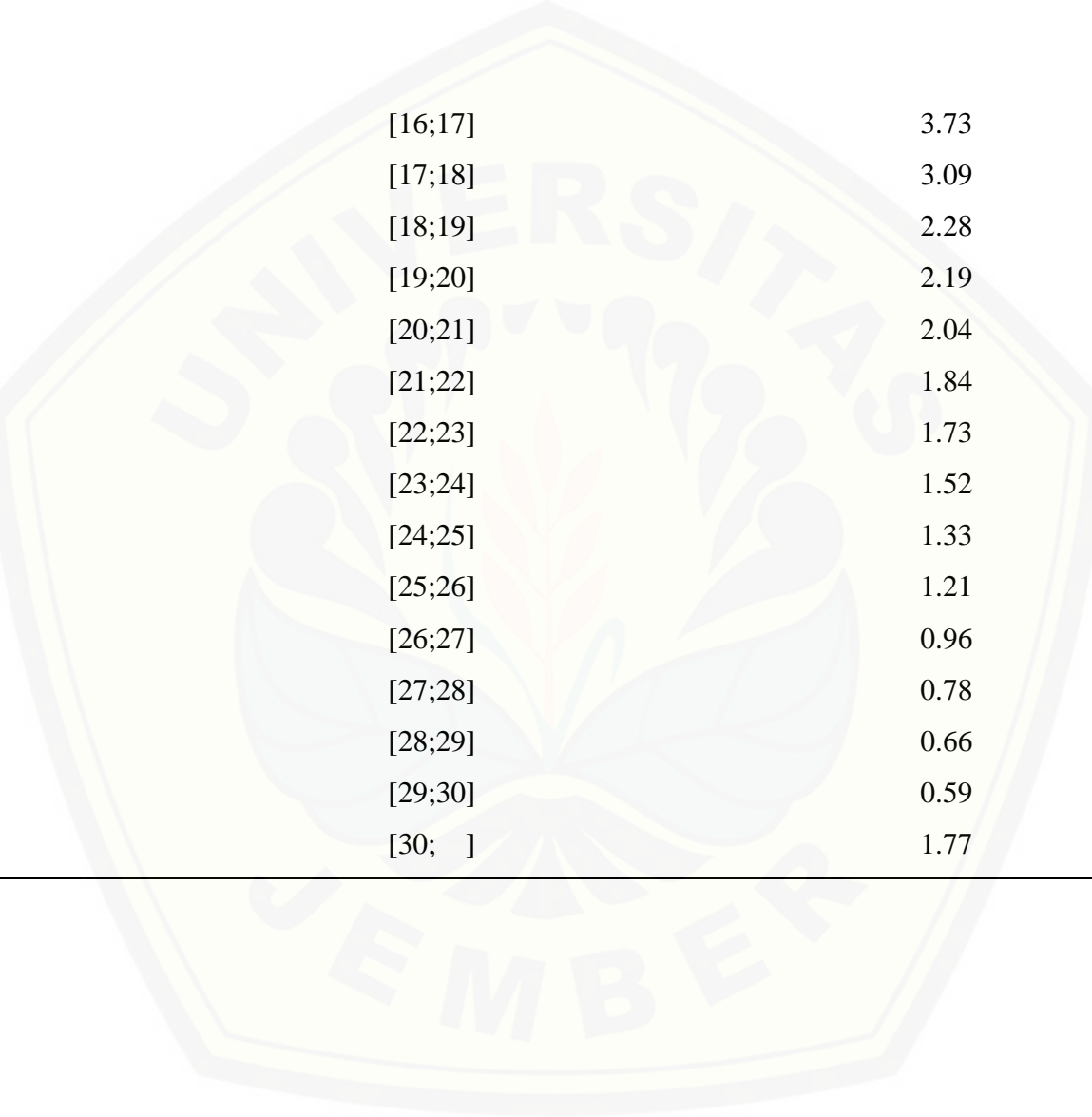
$$D = 4,276 \text{ km}$$

Tabel 1 Nilai Histogram Coverage by Carrier Interference to Niose FFR Sub Urban

No	X	Y (km ²)
1	[-20;-19]	0
2	[-19;-18]	0
3	[-18;-17]	0
4	[-17;-16]	0
5	[-16;-15]	0
6	[-15;-14]	0
7	[-14;-13]	0
8	[-13;-12]	0
9	[-12;-11]	0
10	[-11;-10]	0
11	[-10;-9]	0
12	[-9;-8]	0
13	[-8;-7]	0
14	[-7;-6]	0
15	[-6;-5]	0
16	[-5;-4]	0
17	[-4;-3]	0



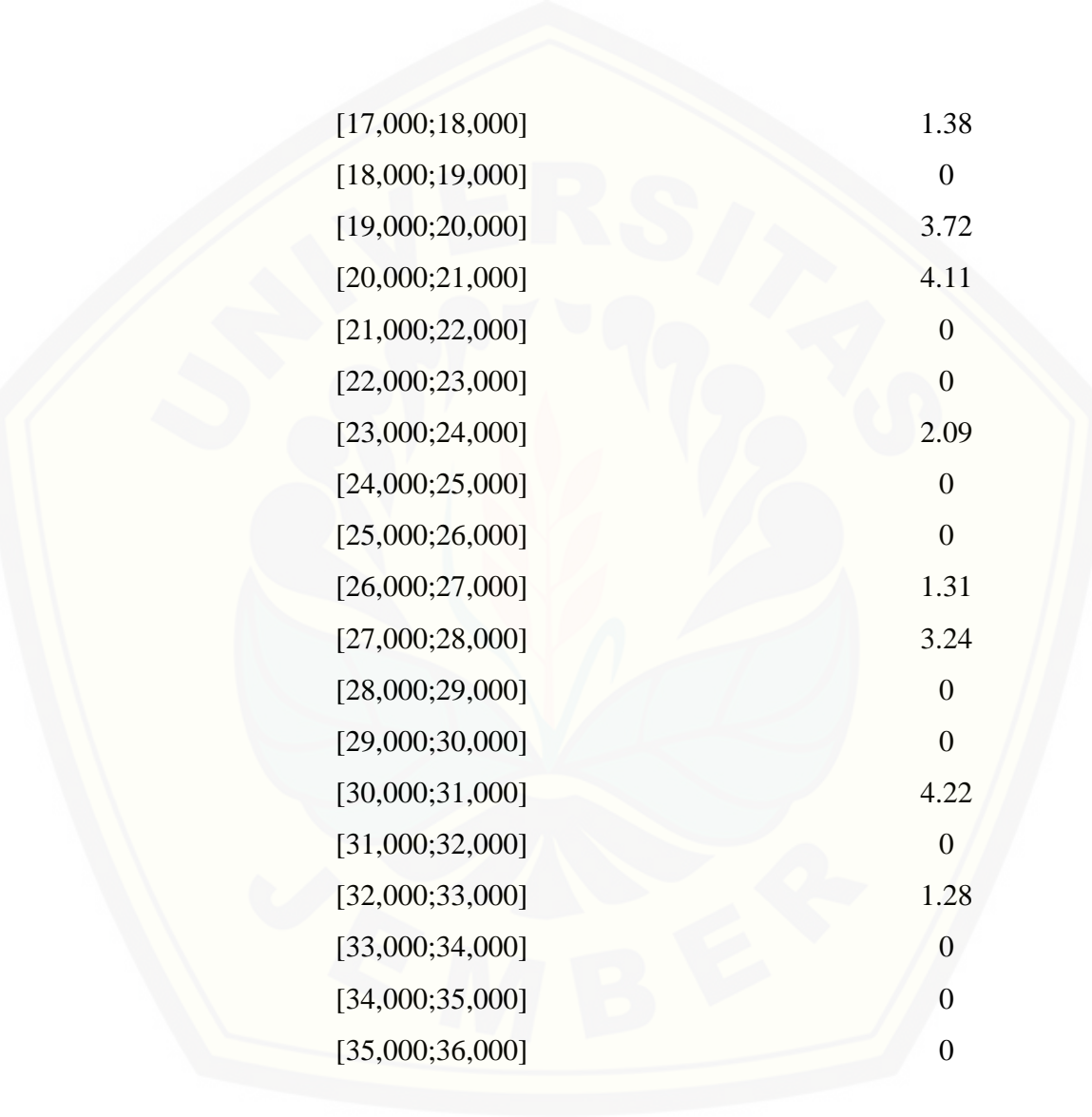
18	[-3;-2]	0
19	[-2;-1]	0
20	[-1;0]	0
21	[0;1]	0
22	[1;2]	0
23	[2;3]	0
24	[3;4]	9.31
25	[4;5]	9.09
26	[5;6]	8.93
27	[6;7]	8.99
28	[7;8]	8.82
29	[8;9]	8.52
30	[9;10]	7.48
31	[10;11]	7.03
32	[11;12]	6.64
33	[12;13]	6.59
34	[13;14]	5.76
35	[14;15]	4.94
36	[15;16]	4.11



37	[16;17]	3.73
38	[17;18]	3.09
39	[18;19]	2.28
40	[19;20]	2.19
41	[20;21]	2.04
42	[21;22]	1.84
43	[22;23]	1.73
44	[23;24]	1.52
45	[24;25]	1.33
46	[25;26]	1.21
47	[26;27]	0.96
48	[27;28]	0.78
49	[28;29]	0.66
50	[29;30]	0.59
51	[30;]	1.77

Tabel 2 Nilai Histogram *Coverage by Throughput* FFR Sub Urban

No	X	Y (km ²)
1	[0;1,000]	0
2	[1,000;2,000]	0
3	[2,000;3,000]	0
4	[3,000;4,000]	0
5	[4,000;5,000]	0
6	[5,000;6,000]	0
7	[6,000;7,000]	0
8	[7,000;8,000]	0
9	[8,000;9,000]	28.67
10	[9,000;10,000]	0
11	[10,000;11,000]	22.16
12	[11,000;12,000]	2.85
13	[12,000;13,000]	0
14	[13,000;14,000]	5.53
15	[14,000;15,000]	1.87
16	[15,000;16,000]	5.58
17	[16,000;17,000]	0



18	[17,000;18,000]	1.38
19	[18,000;19,000]	0
20	[19,000;20,000]	3.72
21	[20,000;21,000]	4.11
22	[21,000;22,000]	0
23	[22,000;23,000]	0
24	[23,000;24,000]	2.09
25	[24,000;25,000]	0
26	[25,000;26,000]	0
27	[26,000;27,000]	1.31
28	[27,000;28,000]	3.24
29	[28,000;29,000]	0
30	[29,000;30,000]	0
31	[30,000;31,000]	4.22
32	[31,000;32,000]	0
33	[32,000;33,000]	1.28
34	[33,000;34,000]	0
35	[34,000;35,000]	0
36	[35,000;36,000]	0



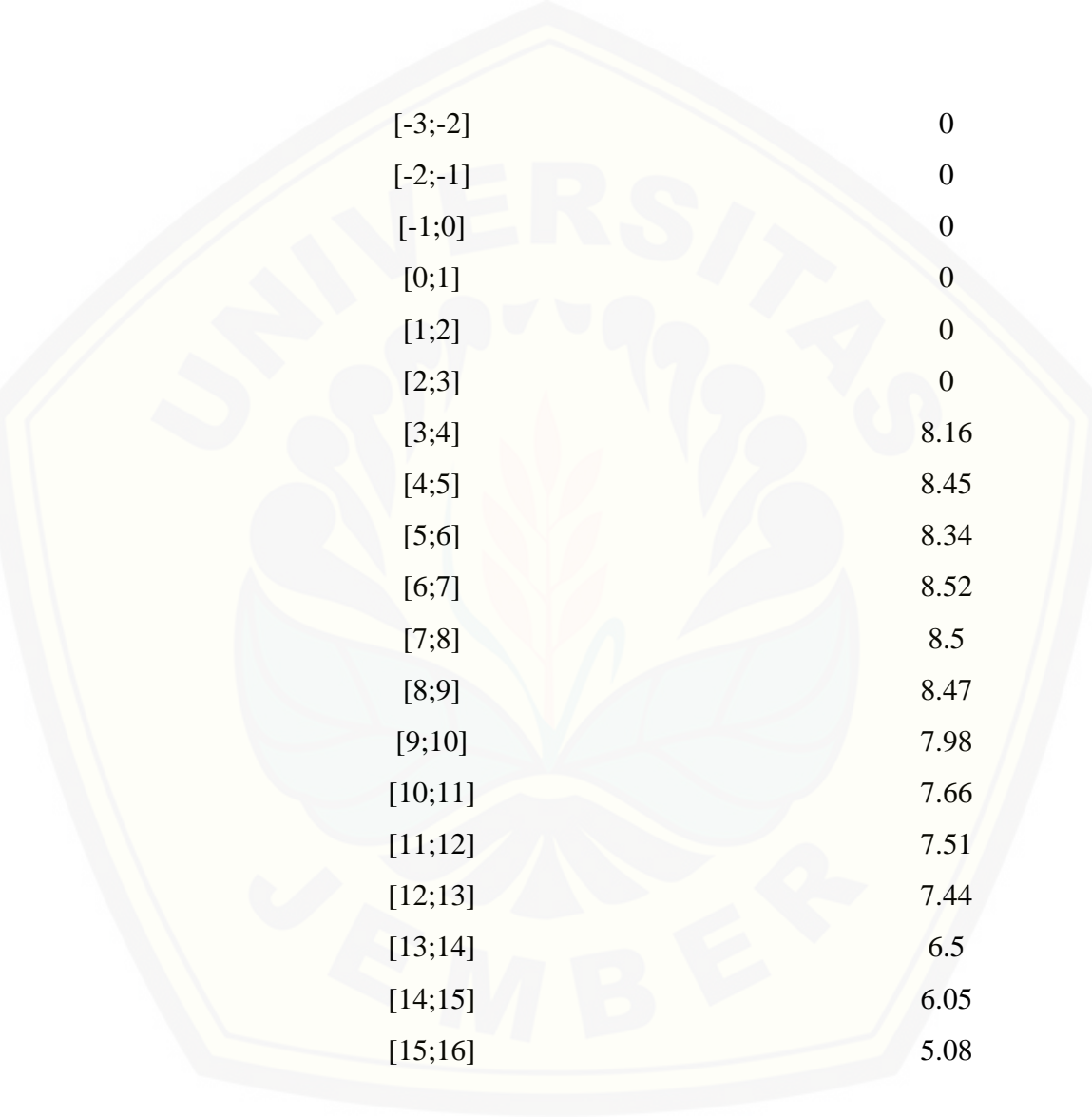
37	[36,000;37,000]	0.56
38	[37,000;38,000]	2.61
39	[38,000;39,000]	0
40	[39,000;40,000]	0.15
41	[40,000;41,000]	0
42	[41,000;42,000]	0
43	[42,000;43,000]	0
44	[43,000;44,000]	0
45	[44,000;45,000]	2.7
46	[45,000;46,000]	2.57
47	[46,000;47,000]	0
48	[47,000;48,000]	0
49	[48,000;49,000]	0
50	[49,000;50,000]	0
51	[50,000;]	25.31

Tabel 3 Nilai Histogram *Coverage by Quality Indicator* FFR Sub Urban

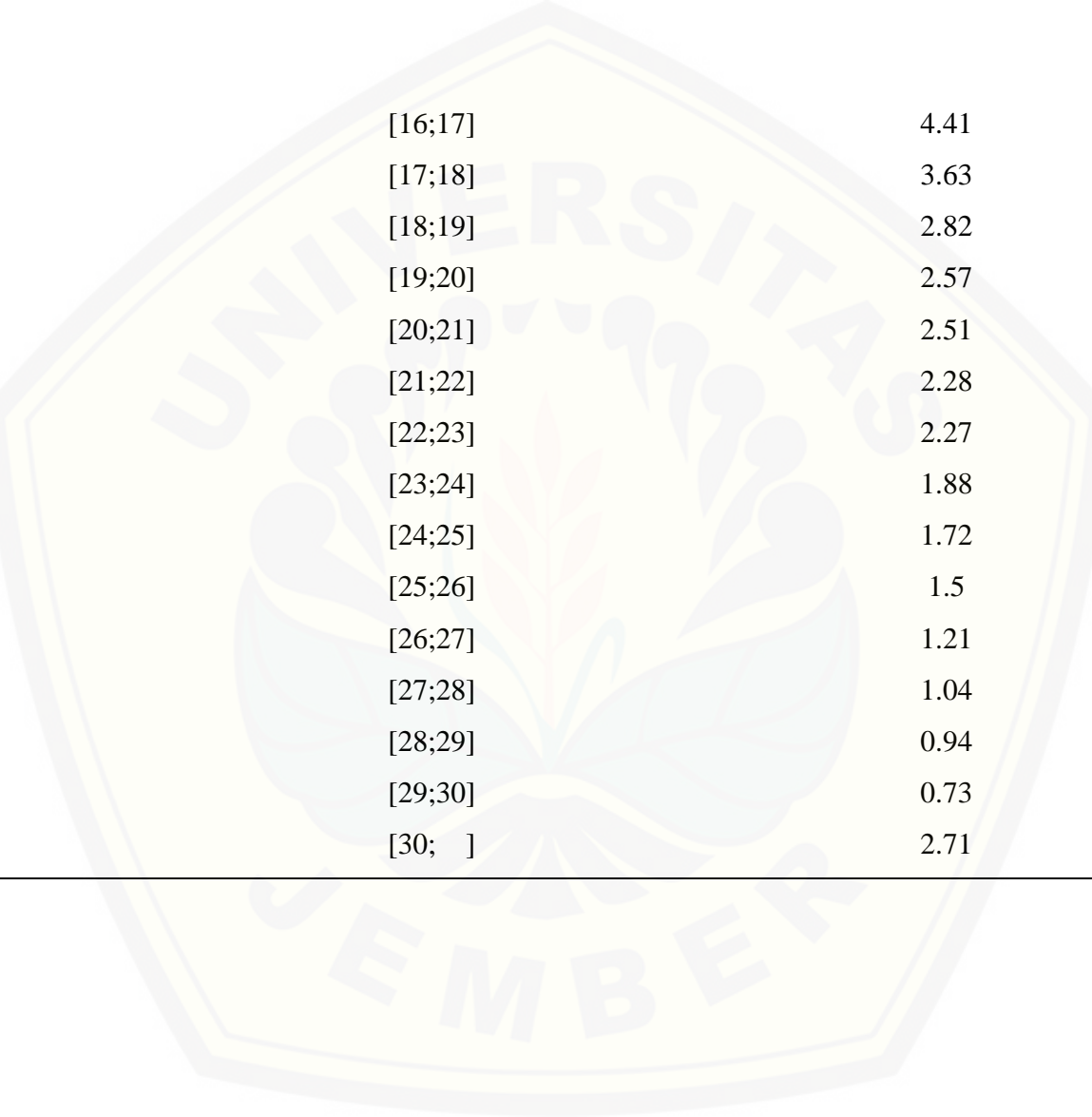
No	X	Y (km ²)
1	[0;0.05]	113.6
2	[0.05;0.1]	10.7
3	[0.1;0.15]	2.9
4	[0.15;0.2]	2.1
5	[0.2;]	1.5

Tabel 4 Nilai Histogram *Coverage by Carrier Interference to Niose SFR Sub Urban*

No	X	Y (km ²)
1	[-20;-19]	0
2	[-19;-18]	0
3	[-18;-17]	0
4	[-17;-16]	0
5	[-16;-15]	0
6	[-15;-14]	0
7	[-14;-13]	0
8	[-13;-12]	0
9	[-12;-11]	0
10	[-11;-10]	0
11	[-10;-9]	0
12	[-9;-8]	0
13	[-8;-7]	0
14	[-7;-6]	0
15	[-6;-5]	0
16	[-5;-4]	0
17	[-4;-3]	0



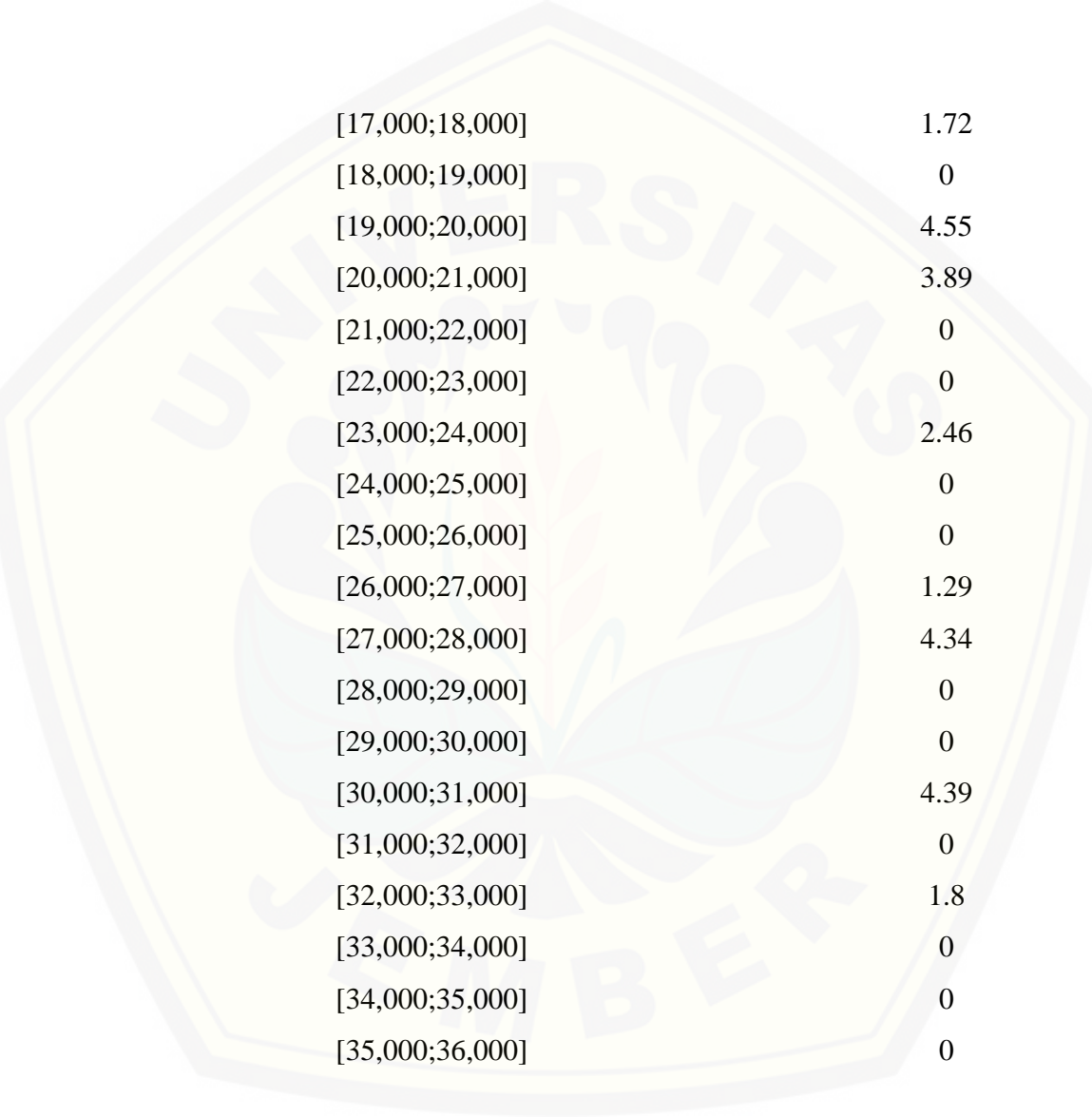
18	[-3;-2]	0
19	[-2;-1]	0
20	[-1;0]	0
21	[0;1]	0
22	[1;2]	0
23	[2;3]	0
24	[3;4]	8.16
25	[4;5]	8.45
26	[5;6]	8.34
27	[6;7]	8.52
28	[7;8]	8.5
29	[8;9]	8.47
30	[9;10]	7.98
31	[10;11]	7.66
32	[11;12]	7.51
33	[12;13]	7.44
34	[13;14]	6.5
35	[14;15]	6.05
36	[15;16]	5.08



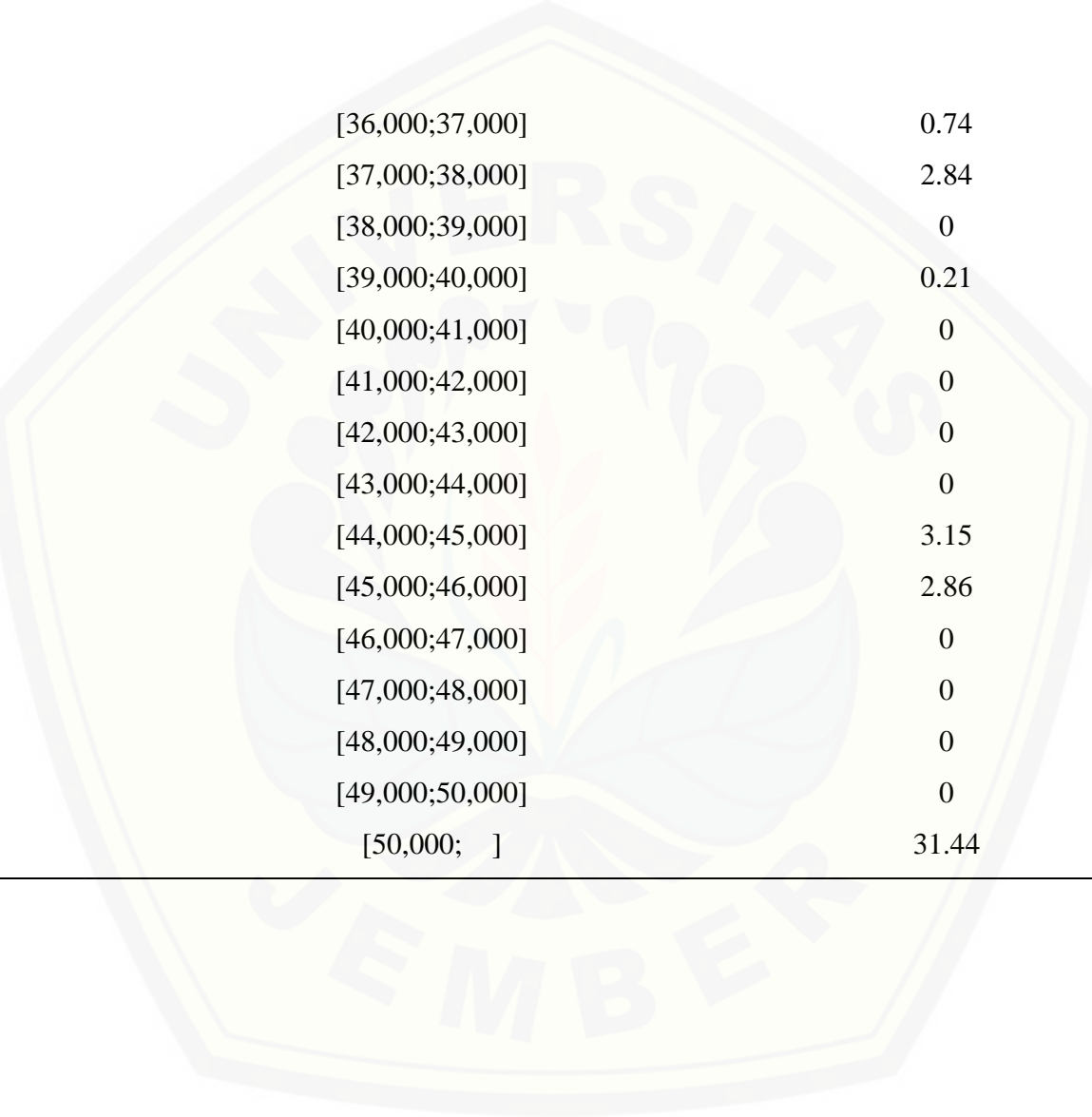
37	[16;17]	4.41
38	[17;18]	3.63
39	[18;19]	2.82
40	[19;20]	2.57
41	[20;21]	2.51
42	[21;22]	2.28
43	[22;23]	2.27
44	[23;24]	1.88
45	[24;25]	1.72
46	[25;26]	1.5
47	[26;27]	1.21
48	[27;28]	1.04
49	[28;29]	0.94
50	[29;30]	0.73
51	[30;]	2.71

Tabel 5 Nilai Histogram *Coverage by Throughput* SFR Sub Urban

No	X	Y (km ²)
1	[0;1,000]	0
2	[1,000;2,000]	0
3	[2,000;3,000]	0
4	[3,000;4,000]	0
5	[4,000;5,000]	0
6	[5,000;6,000]	0
7	[6,000;7,000]	0
8	[7,000;8,000]	0
9	[8,000;9,000]	28.09
10	[9,000;10,000]	0
11	[10,000;11,000]	22.94
12	[11,000;12,000]	1.63
13	[12,000;13,000]	0
14	[13,000;14,000]	6.78
15	[14,000;15,000]	1.37
16	[15,000;16,000]	4.39
17	[16,000;17,000]	0



18	[17,000;18,000]	1.72
19	[18,000;19,000]	0
20	[19,000;20,000]	4.55
21	[20,000;21,000]	3.89
22	[21,000;22,000]	0
23	[22,000;23,000]	0
24	[23,000;24,000]	2.46
25	[24,000;25,000]	0
26	[25,000;26,000]	0
27	[26,000;27,000]	1.29
28	[27,000;28,000]	4.34
29	[28,000;29,000]	0
30	[29,000;30,000]	0
31	[30,000;31,000]	4.39
32	[31,000;32,000]	0
33	[32,000;33,000]	1.8
34	[33,000;34,000]	0
35	[34,000;35,000]	0
36	[35,000;36,000]	0



37	[36,000;37,000]	0.74
38	[37,000;38,000]	2.84
39	[38,000;39,000]	0
40	[39,000;40,000]	0.21
41	[40,000;41,000]	0
42	[41,000;42,000]	0
43	[42,000;43,000]	0
44	[43,000;44,000]	0
45	[44,000;45,000]	3.15
46	[45,000;46,000]	2.86
47	[46,000;47,000]	0
48	[47,000;48,000]	0
49	[48,000;49,000]	0
50	[49,000;50,000]	0
51	[50,000;]	31.44

Tabel 6 Nilai Histogram *Coverage by Quality Indicator* SFR Sub Urban

No	X	Y (km ²)
1	[0;0.05]	105.1
2	[0.05;0.1]	10.2
3	[0.1;0.15]	3
4	[0.15;0.2]	2.1
5	[0.2;]	1.5