

ABSTRAK

Femto merupakan perkembangan dari base station pada jaringan selular dengan menggunakan level daya yang rendah dan memiliki *coverage* yang lebih kecil dibanding dengan *macro*. Femto merupakan solusi yang tepat untuk meningkatkan *coverage* dan *capacity* pada jaringan khususnya pada area *indoor*.

Tugas Akhir ini membahas mengenai penggunaan metode *frequency scheduling* (penjadwalan frekuensi) untuk mengatasi interferensi pada jaringan LTE *Femtocell*. Metode ini berbasis teknologi *cognitive radio*. Analisis penggunaan metode ini akan dilakukan dalam dua skenario penempatan *femtocell*. Skenario pertama dengan penempatan *dynamic random frequency femtocell* di daerah urban. Skenario kedua dengan penempatan *dynamic frequency scheduling base femtocell* di daerah urban. Selain itu, terdapat juga skenario berdasarkan kepadatan jaringan *macro* dan variasi *bandwidth*.

Metode *frequency scheduling* disimulasikan dengan simulator Matlab 2010a untuk penentuan SINR (*signal to interference ratio*) dan *throughput*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skenario *frequency scheduling* dengan metode penggunaan *bandwidth* maksimum (20 MHz) untuk LTE *Femtocell* dan lokasi *Femtocell* berada di tepi *cell* memiliki performansi dengan nilai SINR melewati *threshold* untuk menjamin BER 10^{-6} menggunakan orde modulasi tertinggi, yaitu 64 QAM. Hal ini disebabkan karena dengan kondisi tersebut interferensi CCI (*co-channel interference*) yang dirasakan *femto* berada pada level terendah.

Kata Kunci: *Femtocell*, OFDM, Interferensi, SINR, *throughput*, alokasi frekuensi

ABSTRACT

Femto is the development of base stations in cellular networks using low power levels and has a smaller coverage than macro. Femto is the perfect solution to enhance coverage and capacity on the network, especially in indoor areas.

This final project discusses about the use of frequency scheduling method (scheduling frequency) to overcome interference on LTE Femtocell network. This method is actually based on cognitive radio technology. Analysis using this method will be done in two placement scenarios femtocells. The first scenario is by placement of dynamic random frequency femtocells in urban areas. The second scenario is by placement of dynamic scheduling frequency femtocell base in urban areas. In addition, there are also scenarios based on the macro network density and bandwidth variations.

Frequency scheduling method is simulated with Matlab 2010a simulator for determining SINR (signal to interference ratio) and throughput. The simulation results showed that the frequency scheduling scenarios with the method of using the maximum bandwidth (20 MHz) for the LTE Femtocell and Femtocell location on the edge cell has a performance with SINR value past the threshold to guarantee the BER 10^{-6} using the highest modulation order, ie 64 QAM. This is due to such conditions interference with CCI (co-channel interference) are perceived Femto are at their lowest level.

Key words: *Femtocell, OFDM, Interference, SINR, throughput, frequency allocation*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Penggunaan Metode Penjadwalan Frekuensi untuk Mengatasi Interferensi pada Jaringan LTE Femtocell**” ini dengan baik.

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah menganalisis penggunaan metode *frequency scheduling* untuk mengatasi interferensi pada jaringan Femtocell LTE. Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi yang berguna terutama untuk memberikan solusi implementasi layanan Femtocell pada jaringan LTE di Indonesia masa yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa selalu masih ada langit diatas langit, dan begitu juga dengan Tugas Akhir ini yang penulis yakin masih bisa untuk disempurnakan dan dikembangkan lagi. Oleh karena itu, penulis membuka diri untuk saran dan kritik yang membangun atas nama ilmu pengetahuan, untuk menghubungi penulis dapat melalui email fazlur@mobilecommlab.or.id. Akhir kata, mudah-mudahan Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua. Amin!

Bandung, Februari 2011

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

kupersembahkan karya kecil ini

untuk keluarga kecilku

kedua orang tuaku dan adik-adikku

atas cinta, kasih sayang, doa, dan inspirasi yang

takkan pernah terbalaskan hingga akhir waktu

فَاكْتُبْنَا مَعَ الشَّاهِدِينَ رَبَّنَا آمَنَّا بِمَا أَنْزَلْتَ وَاتَّبَعْنَا الرَّسُولَ

"ya Tuhan kami, kami telah beriman kepada apa yang telah Engkau turunkan dan telah kami ikuti rasul,

karena itu masukkanlah kami ke dalam golongan orang-orang yang menjadi saksi (tentang keesaan Allah)"

(QS Ali 'Imran: 53)

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur alhamdulillah, penulis persembahkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa mencurahkan taufik, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Penggunaan Metode Penjadwalan Frekuensi untuk Mengatasi Interferensi pada Jaringan LTE Femtocell**”. Dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan materiil maupun spiritual kepada penulis:

1. Allah SWT, Tuhanku Yang Maha Pengasih dan Penyayang, yang telah memberikan cahaya petunjuk bagi segala kelancaran dan kemudahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Rasulullah SAW panutanku, semoga shalawat dan salam selalu tercurah kepada beliau hingga akhir waktu.
3. Kedua orang tuaku tercinta, Mamah Juju dan Bapa Dirjo. Atas segala kasih sayang yang telah, masih dan akan terus diberikan kepada penulis. *Rabbighfirli waliwalidayya warhamhumaa kamma robbayaani shaghiira.*
4. Adik-adikku tersayang, Kemal, Iqbal, Nesa yang selalu menginspirasi penulis untuk menjadi lebih baik. Besok kalian harus bisa bikin yang jauh lebih bagus dari mas, ya.
5. Pa Nachwan dan Pa Hadi sebagai pembimbing yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan nasehat dan bimbingan bagi penulis.
6. Bu Indrarini dan Mrs. Florita selaku dosen wali penulis selama menempuh studi.
7. Keluarga besar yang selalu mendukung penulis dalam segala hal, terutama semangat dan doa yang tiada henti, Alm. Mbah kakung, Mbah Putri, Um Ir, Tante, Bulik, Um Ilham, Alm. Abah, Almh. Minde, keluarga Alm. Wa Uti, keluarga Wa Sum, keluarga Almh. Wa Yati, keluarga Bi Aan, keluarga Bi Eka, keluarga Mang Ujang, dan seluruh sanak saudara penulis di Cirebon dan Tegal.
8. Seluruh asisten Laboratorium Sistem Komunikasi Bergerak. Baik para sesepuh Lab, Bang Ipul, Mas Roby, Mas Tri, Mas Guntur, Mas Awang, Mas Syarif, Mas Deny, Pa Nachwan, dan sesepuh lainnya. Juga untuk para senior, Mas Ihsan, Mas Kebo, Mas Pinot, Mas Toha, Mas Timbul, Sofi-sofi dan senior lainnya. Teman-

teman seperjuangan, Galuh, Chump, Adit, Mely, Rahayu, Denny, Sigit, Tyo, Jea, Bagas, Dalijo, Tia, Indra. Serta calon penerus perjuangan Lab, para RG, Firza, Febri, Gony, Hala, Iqbal, Agung, dll. Tetap semangat, kembangkan riset-riset yang jauh melebihi para senior terdahulu.

9. Rekan-rekan Laboratorium Wireless Telkom RDC, Mas Arya yang banyak membantu secara langsung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, rekan-rekan RA yang telah banyak berbagi ilmu dengan penulis, Mas Warya, Mba Karin, Mba Iren. Serta para staf karyawan yang telah membantu penulis dalam menambah wawasan, Pa Hasyim, Mas Prabu, Mba Sinta, Pa Dadu, Pa Gunadi, Pa Deny, Pa Bowo, Pa Yudi, Pa Joni, dll.
10. Teman-teman sepenanggungan di kost tercinta PGA 50 KRG House, terima kasih untuk persaudaraan selama ini, Dida, EDC, Frencink, Pa Lek, Mike, Demas, Mas Darwin, Bang Yun, Febong. Selamat dan sukses buat kita semua cuy.
11. Teman-teman TT-31-03, skuad Brunchday Party, aktivis/pemuda & pengurus DJ/Infokom Himatel, pengurus Dept. Kominfo BEM, saudara-saudara sekampung di E(dot)Comm Cirebon, teman-teman GHK 2008 kopma, dan seluruh teman-teman kepanitian yang penulis ikuti, LKO, MPR, dll. Terima kasih kawan, banyak pelajaran berharga selama bekerja bersama kalian semuanya di kampus kita tercinta, terima kasih.
12. Teman-teman WD De Gangs yang tetap kompak setelah sekian lama kita bersahabat dan selalu menginspirasi penulis dengan indahnya persahabatan, terima kasih untuk inspirasinya kawan, Bolink, Alan, Salman, Tomy, Fika, Ririn, Meta, Afri, Mayang. Great friendship never ends!
13. Dan tidak lupa, special thanks to De Vyra, atas semua yang diberikan pada penulis dan telah menemani penulis melewati suka duka kehidupan kampus tiga tahun belakangan ini, terima kasih telah menjadi teman sekelas, teman belajar, teman makan malem, teman berobat, teman bermain, dan teman ngerjain TA yang baik bagi penulis. Semoga kita dijadikan teman hidup yang baik pula bagi masing-masing kelak, Amin!

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
DAFTAR ISTILAH	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Tugas Akhir	2
1.3 Perumusan Masalah	2
1.4 Pembatasan Masalah	2
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 <i>Long Term Evolution</i> (LTE)	5
2.2 Arsitektur Jaringan LTE	5
2.3 OFDM	6
2.4 OFDMA	7
2.5 Struktur Frame LTE	9
2.6 <i>Femtocell</i>	10
2.6.1 Arsitektur LTE <i>Femtocell</i>	11
2.7 <i>Interference Management</i>	13

2.7.1 <i>Co-Channel Interference (CCI)</i>	13
2.7.2 <i>Cognitive Radio</i>	14
2.7.3 <i>SON (Self Organizing Network)</i>	15
 BAB III PEMODELAN SISTEM DAN SIMULASI	16
3.1 Prosedur dan Parameter Simulasi	16
3.2 Proses Pemodelan Konfigurasi Jaringan	17
3.2.1 Pemodelan <i>Layout</i> Sistem	18
3.2.2 Penentuan Frekuensi Kerja	19
3.2.3 <i>Pathloss Model Outdoor</i>	19
3.2.4 <i>Pathloss Model Indoor</i>	20
3.3 Pemodelan Skenario dan Metode Alokasi Frekuensi	21
3.3.1 Skenario Penggunaan <i>Frequency Scheduling</i>	21
3.3.2 Skenario Perubahan Kepadatan <i>User Macrocell</i>	22
3.3.3 Skenario Perubahan <i>Bandwidth</i>	24
3.4 Lokasi Penempatan <i>Femtocell</i>	24
 BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI	25
4.1 Analisis Pemodelan dan Simulasi	25
4.2 Analisis <i>Pathloss</i>	25
4.3 Analisis SINR <i>Femtocell</i>	29
4.3.1 Analisis Kepadatan <i>User Macrocell</i> Terhadap SINR <i>Femtocell</i>	29
4.3.2 Analisis Penggunaan <i>Frequency Scheduling</i> Terhadap SINR <i>Femto</i>	31
4.3.3 Analisis Lebar <i>Bandwidth</i> Terhadap SINR <i>Femtocell</i>	32
4.4 Analisis <i>Throughput</i>	36
4.4.1 Analisis Kepadatan <i>User Macrocell</i> Terhadap <i>Throughput Femtocell</i>	36
4.4.2 Analisis Penggunaan <i>Frequency Scheduling</i> Terhadap <i>Throughput Femtocell</i>	38
4.4.3 Analisis Lebar <i>Bandwidth</i> Terhadap <i>Throughput Femtocell</i>	39
 BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	45
 DAFTAR PUSTAKA	
 LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Arsitektur LTE	6
Gambar 2.2. Diagram Blok OFDM	7
Gambar 2.3. Susunan Sub-Carrier OFDMA	8
Gambar 2.4 Struktire frame LTE secara umum	9
Gambar 2.5 <i>Resource Block</i> pada LTE	10
Gambar 2.6 Arsitektur <i>Femto Forum</i>	11
Gambar 2.7 Arsitektur H(e)NB	12
Gambar 2.8 Aplikasi <i>Cognitive Radio</i>	14
Gambar 2.9 Ilustrasi SON	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem	17
Gambar 3.2 Layout Jaringan	18
Gambar 3.3 Pemodelan Interferensi <i>macro-femto</i>	19
Gambar 3.4 Diagram Alur Metode <i>Frequency Scheduling</i>	21
Gambar 3.5 Keadaan Jaringan dengan 10 <i>user</i> Aktif pada Tiap <i>Macrocell</i>	22
Gambar 3.6 Keadaan Jaringan dengan 20 <i>user</i> Aktif pada Tiap <i>Macrocell</i>	22
Gambar 3.7 Keadaan Jaringan dengan 30 <i>user</i> Aktif pada Tiap <i>Macrocell</i>	23
Gambar 3.8 Keadaan Jaringan dengan 40 <i>user</i> Aktif pada Tiap <i>Macrocell</i>	23
Gambar 3.9 Keadaan Jaringan dengan 50 <i>user</i> Aktif pada Tiap <i>Macrocell</i>	23
Gambar 3.10 Lokasi penempatan femtocell daerah urban	24

Gambar 4.1 Kondisi Jaringan Saat Femto di Tengah <i>Cell</i>	26
Gambar 4.2 Kondisi Jaringan Saat Femto di Tepi <i>Cell</i>	26
Gambar 4.3 Grafik Nilai SINR Femto Berbanding Jumlah <i>User Macro</i>	30
Gambar 4.4 Simpangan Peningkatan SINR Akibat Penggunaan <i>Frequency Scheduling</i>	32
Gambar 4.5 Grafik Nilai SINR Femto Berbanding Jumlah <i>User Macro</i> Pada <i>Bandwith Macro</i> 10 MHz	33
Gambar 4.6 Grafik Nilai SINR Femto Berbanding Jumlah <i>User Macro</i> Pada <i>Bandwith Macro</i> 20 MHz	34
Gambar 4.7 Grafik Nilai SINR Terhadap BER dengan Modulasi 64 QAM, 16 QAM dan QPSK	35
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan <i>Throughput</i> Femto Berbanding Kepadatan <i>User Macro</i>	37
Gambar 4.9 Grafik Analisis Perbandingan <i>Throughput</i> Femto Berbanding Kepadatan <i>User Macro</i>	39
Gambar 4.10 Grafik Nilai SINR Femto Berbanding Jumlah <i>User Macro</i> Pada <i>Bandwith Macro</i> 10 MHz	40
Gambar 4.11 Grafik Nilai <i>Throughput</i> Femto Berbanding Kepadatan <i>Macro</i> Pada <i>Bandwith Macro</i> 20 MHz	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jumlah <i>Resource Block</i> untuk tiap BW pada LTE	10
Tabel 3.1 Parameter Simulasi	16
Tabel 3.1 Alokasi Frekuensi pada Band 7	19
Tabel 3.2 Perbandingan Lebar BW dan Jumlah RB	24
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Saat Femto di Tengah <i>Cell</i>	27
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Saat Femto di Pinggir <i>Cell</i>	28
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan SINR Femto Berbanding Jumlah User <i>Macro</i>	30
Tabel 4.5 Perbandingan SINR Femto dengan Lebar <i>Bandwidth Macro</i> 10 MHz dan 20 MHz	33
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan <i>Throughput</i> Femto Berbanding Kepadatan User Macro	37
Tabel 4.7 Perbandingan <i>Throughput</i> Femto dengan Lebar <i>Bandwidth Macro</i> 10 MHz dan 20 MHz	40

DAFTAR SINGKATAN

3GPP	: 3 rd Generation Partnership Project
AAA	: Authentication, Authorization, and Accounting
BER	: Bit Error Rate
CSG	: Close Subscriber Group
DSL	: Digital Subscriber Line
EIRP	: Equivalent Isotropic Radiated Power
E-UTRA	: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
E-Node B	: Evolved Node B
FDD	: Frequency Division Duplex
HeNB	: Home eNodeB (LTE Femto)
HeNB GW	: Home eNodeB (LTE Femto) Gateway
HNB	: Home Node B (3G Femto)
HSS	: Home Subscriber Server
LTE	: Long Term Evolution
MME	: Mobility Management Entity
OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
SON	: Self Organizing Network
UE	: User Equipment

DAFTAR ISTILAH

Algoritma	: Metode untuk memecahkan masalah (input-proses-output)
Bandwidth	: Lebar pita frekuensi
Cell Center	: Daerah dekat dengan macro
Cell Edge	: Daerah pinggir dari coverage macro
Coverage Area	: Luas wilayah yang dapat dilayani oleh satu sel
CSG	: Metode akses yang untuk membedakan user dalam bentuk group.
Data Rate	: Besarnya transfer data dalam komunikasi digital dalam satu waktu.
EIRP	: Daya yang disediakan di antenna dengan gain antenna direction relative terhadap antenna isotropic.
eNode B	: Base Transceiver Station dari teknologi LTE.
Femto	: Base Station dengan power transmits kecil dan digelar menggunakan kabel broadband.
Interferensi	: Terganggunya suatu sistem akibat sistem lain
SINR	: (Signal to Interference Noise Ratio) Perbandingan antara daya sinyal terhadap interferensi dan noise.

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN A SINR dan Throughput

DAFTAR LAMPIRAN B GUI Matlab

DAFTAR LAMPIRAN C Source Code Matlab

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada jaringan seluler, diperkirakan 2/3 dari panggilan *voice* dan 90% komunikasi data diakses dari lingkungan *indoor*, seperti perumahan dan perkantoran. Sayangnya, hasil survey menunjukkan 45% pelanggan dilingkungan perumahan dan 30% dari kawasan perkantoran mendapat kualitas layanan *indoor* yang buruk. Umumnya *eNodeB* (*base station*) dari jaringan *outdoor* tidak dapat melayani ke dalam sebuah gedung atau *indoor* karena diakibatkan oleh redaman bangunan dan kepadatan user. Hal ini perlu mendapat perhatian serius dari operator karena penyediaan layanan *indoor* yang baik merupakan hal yang sangat penting baik bagi pelanggan selular maupun untuk operator sendiri.

Femtocell yang biasa disebut *femto-AP* atau *femto-BS* merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan *coverage* serta kapasitas sistem pada jaringan *indoor*. Penggunaan *femtocell* memiliki beberapa keuntungan seperti harga perangkat yang lebih murah (*cost effective*), level daya yang rendah (*low power*) dan instalasi yang relatif mudah sehingga membuat penerapan *femtocell* pada jaringan selular ini menarik untuk dikembangkan lebih lanjut.

Penggunaan *femtocell* dipastikan akan menimbulkan permasalahan dalam hal interferensi. Permasalahan tersebut tidak mungkin selalu diatasi secara manual, misalnya pihak operator sering mengecek penempatan *femtocell* agar tidak terjadi interferensi dengan *eNodeB* di sekitarnya. Mengandalkan *user* untuk menempatkan *femtocell* agar tidak terjadi interferensi juga tidak mungkin, karena kebanyakan *user* masih awam mengenai masalah ini. Oleh sebab itu, pada Tugas Akhir ini akan dilakukan penelitian metode pengalokasian frekuensi yang tepat sehingga *femtocell* dapat menyesuaikan diri pada lingkungan yang ditempatkan. Metode ini nantinya akan memberikan solusi pada penggunaan *femtocell* sehingga efek interferensi bisa diminimalisasi.

1.2 Tujuan Tugas Akhir

Penyusunan Tugas Akhir ini bertujuan untuk:

1. Mengalisis karakteristik interferensi *femtocell* berdasarkan studi literatur maupun implementasi simulasi.
2. Mengetahui cara kerja pengalokasian frekuensi pada jaringan Femtocell LTE.
3. Mempelajari metode penjadwalan frekuensi untuk mengatasi interferensi untuk meningkatkan peformansi jaringan LTE *femtocell*.
4. Melakukan skenario simulasi dengan pemakaian metode penjadwalan frekuensi dan menganalisis hasilnya.
5. Menentukan skenario implementasi *femtocell* yang yang paling efektif untuk diterapkan pada jaringan LTE khususnya pengalokasian frekuensi.

1.3 Perumusan Masalah

Masalah yang dihadapi dalam pengembangan ini adalah :

1. Skenario yang digunakan dalam penempatan *femtocell* dalam jaringan *macrocell* yang telah ada sebelumnya.
2. Konfigurasi dan parameter yang harus dipertimbangkan dalam merancang konfigurasi jaringan *macrocell-femtocell*.
3. Penerapan metode penjadwalan frekuensi dalam mengatasi interferensi yang akan disimulasikan pada jaringan *femtocell*.
4. Bagaimana mengaplikasikan susunan jaringan dengan parameter-parameternya ke dalam *software* simulasi sehingga didapat hasil yang dibutuhkan untuk dianalisis.
5. Bagaimana cara mengolah keluaran dari hasil simulasi.

1.4 Pembatasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Jaringan yang akan disimulasikan adalah jaringan LTE.

2. Skenario yang akan digunakan dalam simulasi adalah skenario interferensi antara *macrocell-femtocell*
3. Interferensi yang dianalisis pada arah *downlink*.
4. Penelitian interferensi difokuskan CCI (*Co-Channel Interference*) pada jaringan *femtocell*.
5. Frekuensi kerja LTE *femtocell* pada 2600 MHz dan bandwidth 10 MHz dan 20 MHz.
6. *Transmit power* macro dan femto dianggap stabil dengan tidak membahas *power control*.
7. Studi kasus lokasi pengembangan pada skenario penempatan *macrocell-femtocell* di daerah urban.
8. Diasumsikan tidak terjadi *handover* antara *macrocell* dengan *femtocell*.
9. Diasumsikan *macrocell* dengan kondisi performansi yang baik.
10. Simulasi dilakukan menggunakan bantuan *software*.

1.5 Hipotesis

Hipotesis pada tugas akhir ini diperoleh sebagai berikut:

- 1 Metode untuk pengalokasian sumberdaya frekuensi pada *femtocell* diantaranya adalah *dynamic frequency femtocell* dan *frequency scheduling base femtocell* pada arah *downlink* menggunakan *Orthogonal Frequency Digital Multiple Access (OFDMA)*.
- 2 Daya pancar *femtocell* dan *macrocell* dapat menyebabkan interferensi pada masing-masing jaringan, dengan *co-channel interference (CCI)* merupakan jenis interferensi terbesar yang dialami.
- 3 Pemakaian metoda pengalokasian sumber daya frekuensi yang tepat dapat meningkatkan performansi pada jaringan *femtocell*, khususnya dalam mengatasi CCI (*Co-Channel Interferensi*) secara signifikan.
- 4 Unjuk kerja jaringan terhadap interferensi dapat dilihat dengan parameter SINR dan *throughput*.

1.6 Sistematika Penulisan

Proposal Tugas Akhir ini disusun dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Memaparkan latar belakang masalah, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, sistematika penulisan, metodologi penyelesaian masalah, dan jadwal pelaksanaan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini membahas teori yang mendukung penyusunan tugas akhir ini yaitu mengenai teknologi selular khususnya pada *femtocell*.

BAB III PEMODELAN DAN DIAGRAM ALIR SISTEM

Bab ini membahas mengenai model sistem, diagram blok sistem, aliran pengerjaan penelitian (*flowchart*), penjelasan sistem serta simulasi Tugas Akhir ini.

BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI

Bab ini membahas hasil dari perhitungan simulasi yang telah dilakukan analisis dan analisi mendalam dari hasil simulasi tersebut.

BAB V PENUTUP

Bab ini memberikan inti sari dari keseluruhan penelitian dan saran-saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Long Term Evolution (LTE)*

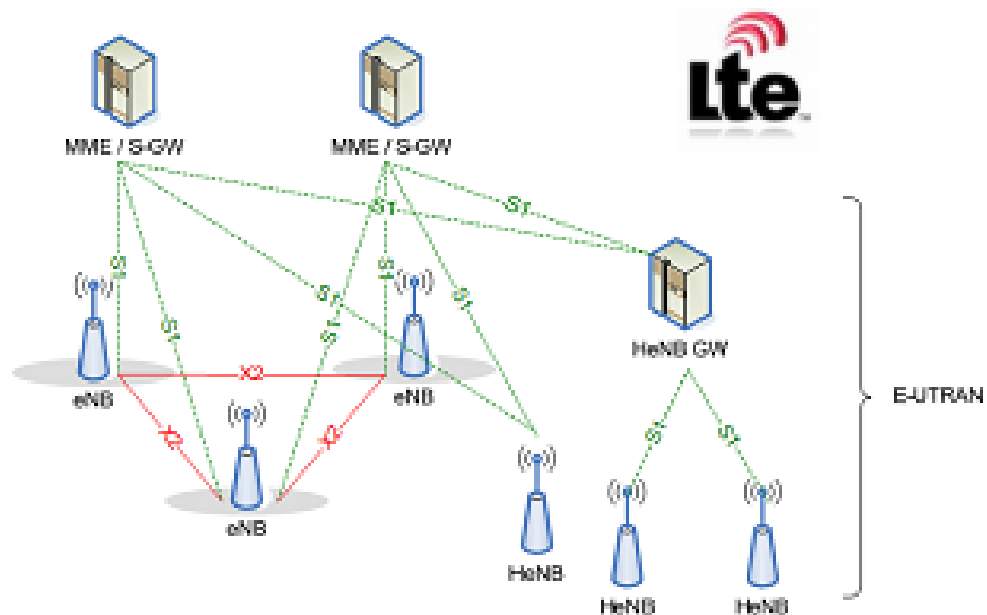
Long Term Evolution (LTE) merupakan sebuah nama dari generasi ke-4 (4G) selular yang diberikan pada sebuah project dari *Third Generation Partnership Project (3GPP)* untuk memperbaiki standard mobile phone generasi ke-3 (3G) yaitu UMTS/HSPA. LTE memiliki kemampuan transfer data mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink*. Selain itu LTE ini mampu mendukung semua aplikasi yang ada baik *voice*, data, *video*, maupun IPTV.

Pada sisi *air interface Long Term Evolution (LTE)* menggunakan teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan menggunakan SC-FDMA pada sisi *uplink*. Dan pada sisi antena *Long Term Evolution (LTE)* mendukung penggunaan *multiple-antenna (MIMO)*. *Bandwidth* operasi pada *Long Term Evolution (LTE)* fleksibel yaitu *up to 20 MHz*, dan maksimal bekerja pada kisaran *bandwidth* bervariasi antara 1.25 – 20 MHz.

2.2 *Arsitektur Jaringan LTE*

Dalam suatu konfigurasi jaringan telekomunikasi bergerak dalam hal ini *Long Term Evolution (LTE)* diperkenalkan suatu jaringan baru yang diberi nama EPS (*Evolved Packet System*). EPS terdiri dari jaringan akses yang pada LTE disebut dengan E – UTRAN (*Evolved UMTS Terrestrial Access Network*) dan jaringan core yang pada LTE disebut SAE. SAE merupakan istilah yang menggambarkan evolusi jaringan core menuju ke disebut EPC (*Evolved Packet Core*). Pada *Long Term Evolution (LTE)* konfigurasinya merupakan pengembangan dari teknologi sebelumnya, yaitu baik UMTS (3G) dalam hal ini merupakan *Release 99/4* dan HSPA *Release 6*, *Long Term Evolution (LTE)* merupakan standard *release 8*.

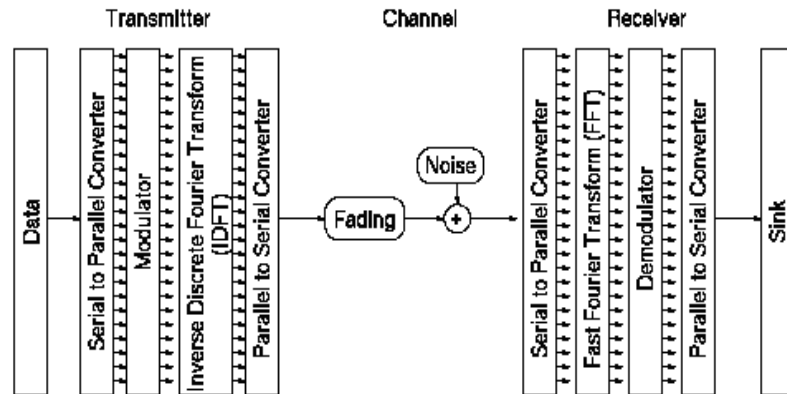
Long Term Evolusion (LTE) mempunyai *radio access* dan *core network* yang dapat mengurangi *network latency* dan meningkatkan performansi sistem dan menyediakan *interoperability* dengan teknologi 3GPP yang sudah ada dan non-3GPP. Berikut ini adalah contoh gambar arsitektur LTE [1].



Gambar 2.1. Arsitektur LTE [1]

2.3 OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing sub-carrier tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio symbol yang rendah. Blok diagram dari OFDM adalah:



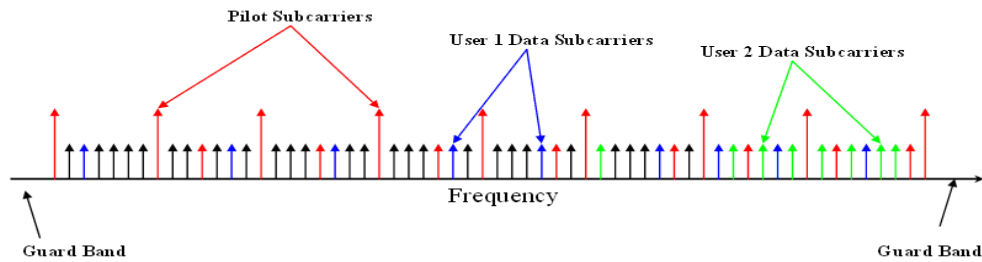
Gambar 2.2. Diagram Blok OFDM [4]

Prinsip kerja dari OFDM dapat dijelaskan sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga bila bit rate semula adalah R , maka bit rate di tiap-tiap jalur parallel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah sub-carrier). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap sub-carrier. Modulasi yang digunakan untuk OFDM ini adalah BPSK, QPSK, dan QAM.

Kelebihan dari OFDM adalah terbukti dapat digunakan untuk mengatasi berbagai macam permasalahan propagasi seperti multipath dan juga dapat mengatasi masalah delay spread dan *Inter Symbol Interference* (ISI). Karena durasi dari tiap simbol panjang, maka memungkinkan untuk penyisipan guard interval di antara simbol-simbol OFDM.

2.4 OFDMA

OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) adalah teknik multiple access yang merupakan kombinasi antara OFDM dan CDMA. Yaitu menggunakan OFDM untuk modulasi tiap stasiun dan menggunakan CDMA untuk *multiple access*. OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) digunakan untuk membagi sumber yang ada pada OFDM agar dapat digunakan oleh banyak user. Struktur simbol OFDMA terdiri dari tiga jenis subcarrier seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.3. Susunan Sub-Carrier OFDMA [4]

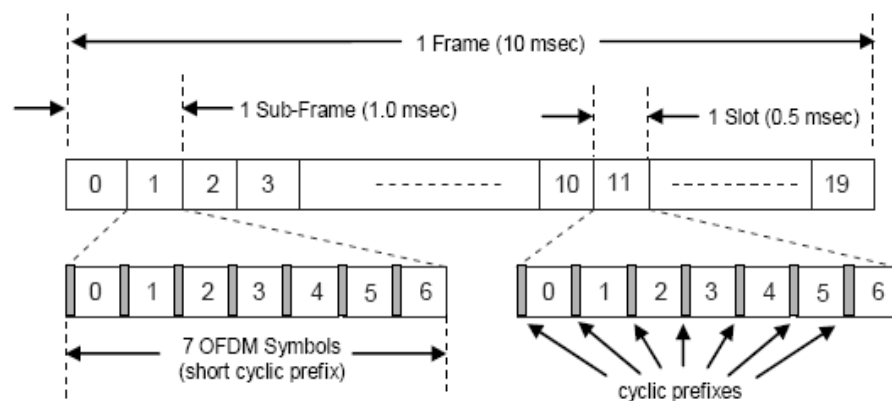
- Data subcarrier untuk transmisi data
- Pilot subcarrier untuk estimasi dan sinkronisasi
- Null subcarrier yang digunakan untuk guard band, bukan untuk transmisi data

OFDMA merupakan skema yang dipilih untuk *downlink* pada LTE. Sistem OFDMA sangat bagus dalam melawan efek yang ditimbulkan dari adanya multipath, mempunyai tingkat efisiensi spektral yang tinggi, khususnya dengan adanya kesesuaian dengan MIMO, dan OFDMA dapat mengurangi kompleksitas pada saat implementasi.

Dalam sistem OFDM, ada beberapa proses multiple access yang mana dapat digunakan untuk membedakan satu user dengan user yang lain. Salah satu cara yang paling sederhana adalah dengan memberikan satu user dengan sebuah aturan yang unik dalam pemilihan frekuensi *subcarrier*. Lebih tepatnya, setiap user dibedakan dengan sejumlah pilihan resource yang dipilih pada tingkat frekuensi-waktu. Multiplexing trafik dikerjakan dengan mengalokasikan setiap user ke dalam susunan slot-slot frekuensi-waktu, berdasarkan kecepatan datanya. Berbeda halnya dengan sistem OFDMA, dari domain frekuensi, berdasarkan penempatan setiap simbol pada OFDMA ke dalam *subcarrier-subcarrier*, *subcarrier* mengalokasikan *resource* secara bersamaan atau secara terpisah. Dari sudut pandang diversitas frekuensi, pengalokasian secara terpisah dianggap lebih baik daripada secara bersamaan.

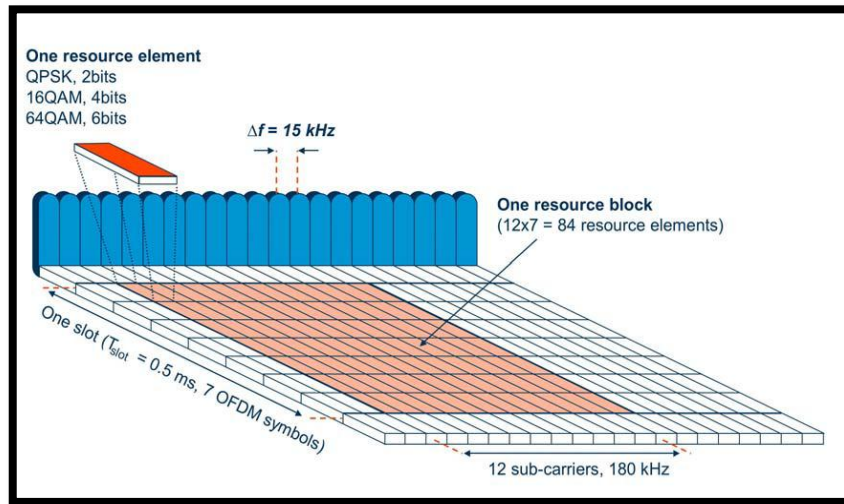
2.5 Struktur Frame LTE

Pada OFDMA, setiap user diberikan sebuah nomor spesifik dari subcarrier untuk sejumlah waktu yang sudah ditetapkan. Pada spesifikasi LTE, semua skema ini diserahkan atau ditangani oleh physical resource blok (PRB). Jadi PRB mengalami atau bekerja dalam dua domain, baik domain frekuensi maupun domain waktu. Pembagian PRB ditangani oleh sebuah fungsi scheduling pada eNodeB.



Gambar 2.4 Struktire frame LTE secara umum [1]

Struktire frame diatas digunakan dengan kosep FDD, tetapi sebagai alternatif struktur frame yang lain dapat digunakan dengan konsep TDD. Frame pada LTE mempunyai panjang durasi 10 msec. Panjang frame 10 msec dibagi ke dalam 10 subframe dengan panjang durasi tiap subframe sebesar 1 msec. Setiap satu subframe dibagi lagi menjadi 2 slot, yang panjang durasi tiap slotnya 0,5 msec. Tiap slot terdiri dari 6 sampai 7 simbol OFDM.



Gambar 2.5 Resource Block pada LTE [1]

Pada teknologi LTE mendukung fleksibilitas penggunaan bandwidth, yaitu antara 1,25 MHz – 20 MHz. Tabel dibawah ini menunjukkan besar PRB untuk tiap bandwidth operasinya. PRB adalah elemen terkecil dari alokasi sumber (resource) yang diberikan oleh eNodeB.

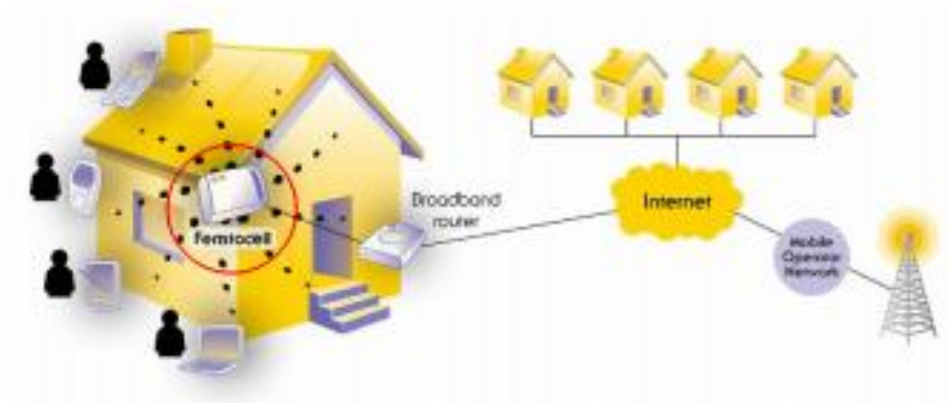
Tabel 2.1 Jumlah Resource Block untuk tiap BW pada LTE [1]

Channel Bandwidth [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Block (N_{RB})	6	15	25	50	75	100
Number of Occupied Subcarriers	72	180	300	600	900	1200
IDFT (Tx) / DFT (Rx) Size	128	256	512	1024	1536	2048

2.6 Femtocell

Femtocell atau biasa dikenal sebagai *Access Point Base Station*, merupakan *base station* berukuran kecil yang didesain untuk digunakan pada area *indoor* misalnya di dalam gedung apartement. Konsep *femtocell* ini *applicable* untuk semua standard, termasuk GSM , CDMA 2000, TD-SCMA (*Time Division Synchronous Multiple Access*), LTE, dan WiMAX.

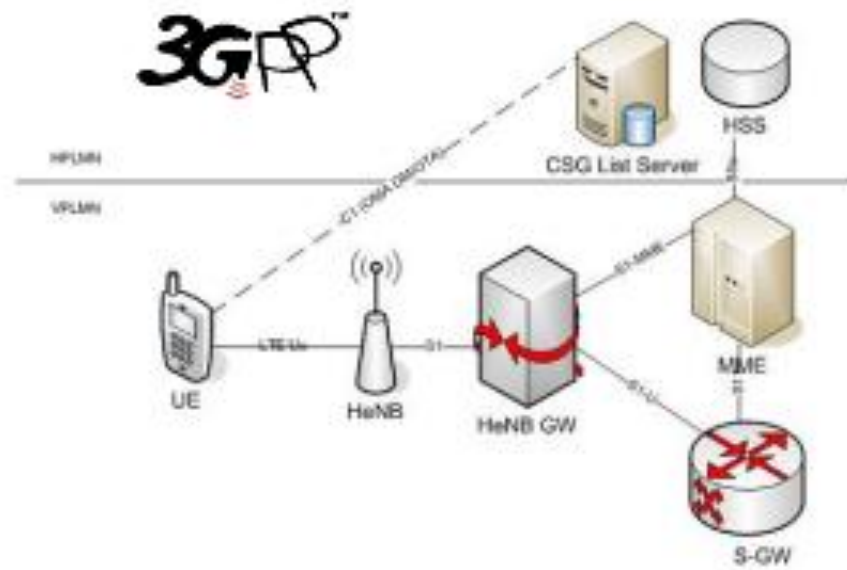
Beberapa keuntungan dapat diambil oleh operator jaringan dari penerapan *femtocell* ini. Keuntungan-keuntungan itu misalnya dari segi coverage, kapasitas, dan biaya pembangunan serta pemeliharaan jaringan yang rendah.



Gambar 2.6 Arsitektur *Femto Forum* [7]

2.6.1 Arsitektur LTE *Femtocell*

Standarisasi femto dipublikasikan pertama kali oleh 3GPP Release 8, tetapi sebelumnya sudah ada forum yang membahas tentang teknologi ini yaitu FemtoForum. 3GPP memberikan istilah femto dengan nama Home Node B (HNB) untuk generasi UMTS dan Home eNode B (HeNB) untuk generasi LTE. HNB dikembangkan karena macro LTE pada saat femto dikembangkan belum merata disemua Negara. Oleh karena itu, HNB dikembangkan juga bersamaan dengan HeNB oleh 3GPP pada Release 8. Berikut ini adalah arsitektur dari jaringan H(e)NB dengan menggunakan standard dari 3GPP. Berikut ini adalah arsitektur dari jaringan *femtocell* dengan menggunakan standard dari 3GPP:



Gambar 2.7 Arsitektur H(e)NB [3]

Komponen pada konfigurasi jaringan LTE *femtocell*:

- **Home eNodeB (HeNB)**

HeNB berfungsi sebagai *e Node B* station pada jaringan *macrocell* yaitu mengalokasikan frekuensi yang akan digunakan oleh *user*. Beberapa fungsi lainnya yang dilakukan oleh *femtocell* seperti pada *macrocell* yaitu mengontrol frekuensi pembawa pada sel, mengatur alokasi daya untuk *traffic* dan dan pengalokasian subcarriier.

- **Home eNodeB Gateway (HeNB-GW):**

Gateway atau gerbang menghubungkan HeNB dengan core network operator. HeNB-GW berperan dalam pemyaluran jenis informasi yang dikiraiman dari berbagai CPE. Oleh karena itu, HeNB-GW juga dapat memisahkan antara sambungan operator internet misalnya (WiFi). HeNB-GW juga berperan sebagai fungsi AAA (Autentifikasi Autorization and Accounting).

- **S1-interface:**

Merupakan interface antaraHeNB dengan HeNB-GW. Iuh interface mempunyai multifungsi. Dalam S1-interface menggunakan tambahan

protocol baru SCTP yang digunakan sebagai transport control dan signaling message.

- **HeNB Management System (HeNB-MS):**

Berdasar pada standard TR-069 (*broadband forum*). HeNB-MS menyediakan fungsi OAM. HeNB-MS juga berfungsi dalam control dan manage HeNB.

2.7 Interference Management

Dalam meningkatkan performansi pada jaringan *femtocell* yang ditempatkan pada suatu tempat maka perlu dilakukan metode atau algoritma yang tepat untuk manajemen interferensi. Metode tersebut antara lain pemakaian *frequency scheduling* pada jaringan LTE *femtocell*. Metode *frequency scheduling* sendiri berbasis pada algoritma *cognitive radio*. Diharapkan metode tersebut dapat meminimalisasi terjadinya interferensi. Kali ini jenis interferensi yang akan diteliti adalah CCI dan ICI.

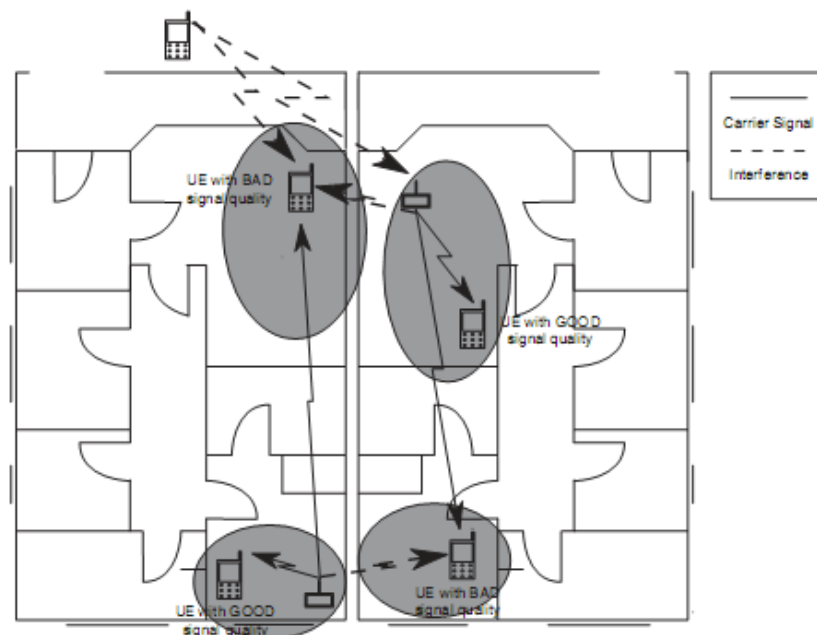
2.7.1 Co-Channel Interference (CCI)

Interferensi saluran bersama atau yang dalam bahasa Inggrisnya, *co-channel interference*, adalah salah satu kejadian dalam sistem terestrial dimana terdapat dua kanal atau lebih yang bekerja dengan frekuensi yang sama, masing-masing saling terganggu dan mengganggu. Akibat keadaan itu, maka satu *receiver* akan menangkap beberapa kanal tertentu dari dua atau lebih pemancar yang juga bekerja pada frekuensi tersebut. Tingkat atau level penerimaannya bergantung dari jarak dua atau lebih pemancar itu berada dari *receiver* bersangkutan. Akibat dari interferensi tersebut akan sepenuhnya mengganggu komunikasi bila level sinyal utama yang diterima ($=C$) lebih kecil dari batas tertentu, sehingga rasio C/N atau C/I tidak lebih kecil dari 18 dB ($C/I \geq 18$ dB), dimana N adalah level noise total pada penerimaan, dan I adalah sinyal interferensi total dari beberapa pemancar.

Pada sistem seluler, untuk mencakup satu kawasan yang luas digunakan metode *frequency-reuse*, karena memang pita frekuensi secara keseluruhan untuk masing-masing operator sangat terbatas. Misalnya untuk satu operator besar di Indonesia, diberikan ijin untuk penempatan frekuensi *uplink* dan *downlink* tertentu, dengan *bandwidth* 7.5 MHz. Dari BW tersebut kira-kira dapat melayani 10.000 pelanggan, maka kemudian diterapkan pola frekuensi reuse, yaitu mengulang-ulang satu frekuensi kanal atau lebih untuk kawasan lainnya, mulai dari 4-15.

2.7.2 Cognitive Radio

Radio kognitif adalah suatu metode akses jaringan radio, dimana spektrum dari pengguna yang dianggap memiliki prioritas yang lebih rendah atau pengguna sekunder dialokasikan untuk pengguna primer, intinya bahwa pengguna kognitif diatur tidak menciptakan gangguan untuk pengguna primer potensial. Proses ini sendiri dilakukan dengan mengubah parameter radio sedemikian sehingga pengguna primer potensial tidak terganggu. Secara sederhana dapat dilihat dari gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Aplikasi Cognitive Radio [10]

2.7.3 SON (Self Organizing Network)

Self Organizing Network (SON) sangat berperan dalam penggelaran femtocell. Femtocell yang pemakainya berdasarkan plug and play maka perlu dibuat strategi agar femto tersebut dapat menyesuaikan diri sesuai dengan kondisi lingkungan disekitarnya (existing). SON pada penggelaran femto mempunyai empat tahapan, yaitu *measurement*, *self configuration*, *self optimization*, dan *self healing*. Femto merupakan perkembangan selular dalam 3GPP Release 8 sehingga mempunyai kelebihan dalam fitur SON. Berikut merupakan beberapa manfaat yang ada dalam SON;

- Femto dapat digelar dalam jumlah yang lebih banyak dari macro sehingga fitur SON dapat meminimalisasi interferensi.
- Femto dapat diaktifkan dan dinon-aktifkan atau dipindahkan setiap saat oleh pelanggan (plug and play).



Gambar 2.9 Ilustrasi SON [13]

BAB III

PEMODELAN SISTEM DAN SIMULASI

3.1 Prosedur dan Parameter Simulasi

Pada Tugas Akhir ini scenario dan simulasi dalam mengatasi interferensi pada LTE Femtocell terbagi dalam beberapa langkah. Langkah pertama adalah menentukan parameter simulasi, langkah kedua menentukan metode alokasi frekuensi pada femtocell yang dapat mengurangi interferensi, langkah ketiga merancang model-model skenario jaringan untuk mensimulasikan pengaruh interferensi terhadap metode alokasi frekuensi yang digunakan, langkah terakhir melakukan perhitungan dan simulasi pada software simulasi untuk pengambilan data dan membandingkannya.

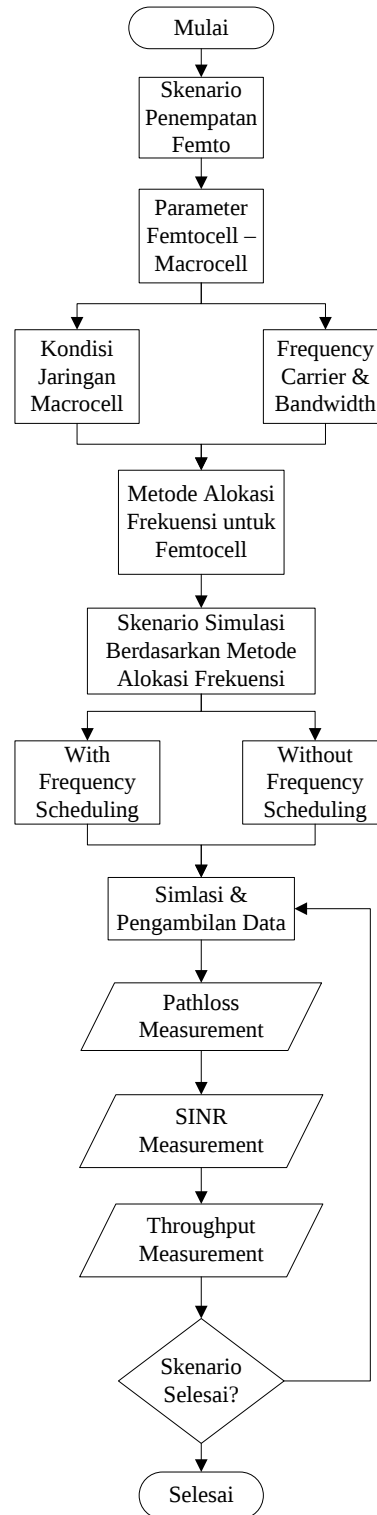
Konfigurasi jaringan yang akan disimulasikan terdiri dari 7 buah macro dengan sejumlah pelanggan macrocell tertentu (berdasarkan skenario) yang terdapat pada cell macro. Simulasi dilakukan dalam dua skenario utama yaitu berdasarkan Frequency Scheduling dan Random. Sedangkan pemakaian *Bandwidth* terbagi menjadi dua scenario pula, yaitu 10 MHz dan 20 MHz. Perhitungan terhadap kinerja jaringan dilakukan melalui perhitungan dengan Matlab 2010a dan simulasi jaringan juga dilakukan dengan bantuan software Matlab 2010a. Data-data mengenai kinerja jaringan yang meliputi Signal to Interference and Noise Ratio (SINR) dan *throughput* untuk berbagai jumlah femto sebagai bahan analisis.

Tabel 3.1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai	
	Macro	Femto
Jumlah Cell	7 Macro (eNB)	1 FAP (HeNB)
Daya Pancar	43 dBm	20 dBm
Bandwidth	10 MHz, 20 MHz (dua skenario)	
Subcarrier	600 (untuk 10 MHz), 1200 (untuk 20 MHz)	
Resource Block	50 (untuk 10 MHz), 100 (untuk 20 MHz)	
Subcarrier Spacing	15 kHz	
Radius of Cell	280 m	30 m
Pathloss	Cost 231 – Hata	Indoor Propagation
Jumlah User	10, 20, 30, 40, 50 user	Single User

3.2 Proses Pemodelan Konfigurasi Jaringan

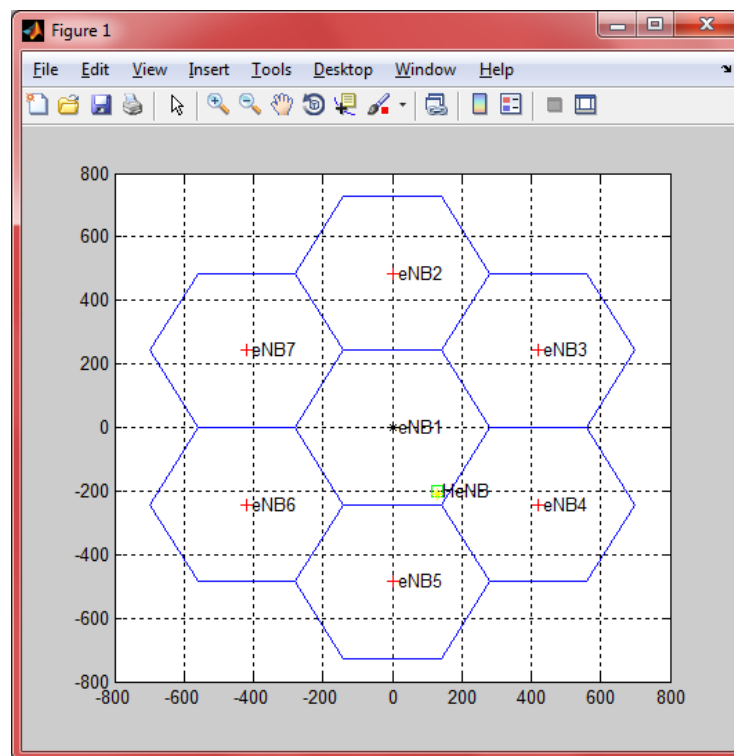
Berikut adalah diagram alir prosedur scenario untuk proses pemodelan simulasi:



Gambar 3.1 Diagram Alir Sistem

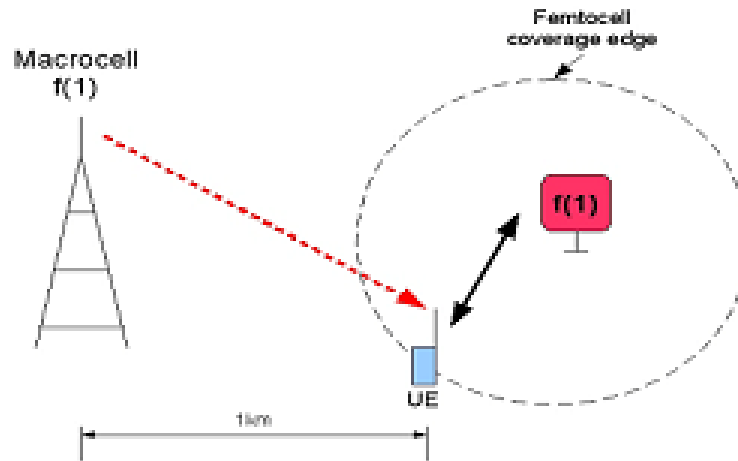
3.2.1 Pemodelan Layout Sistem

Layout system yang digunakan untuk simulasi terdiri dari satu buah HeNB sebagai *serving femto* dan tujuh buah eNB *macro* sebagai penginterferensi. **Gambar 3.2** merupakan konfigurasi layout tujuh *macro cell* eNB dan satu HeNB yang berada pada tepi *cell* eNB1. Alokasi frekuensi untuk *femtocell* menggunakan spectrum yang sama dengan *macrocell*, sehingga dari gambar dapat terlihat bahwa jaringan *femtocell* merasakan *Co-Channel Interference* (CCI) dari ketujuh *macrocell*.



Gambar 3.2 Layout Jaringan

Pengalokasian sub-carrier akan berdampak pada performansi jaringan apalagi ditambah dengan adanya femto yang ada didalam macro tersebut. Penambahan femto dapat memberikan dampak positif karena dapat meningkatkan kapasitas tetapi juga dapat menurunkan performansi dari sistem. Penurunan performansi sistem diakibatkan apabila femto tersebut menggunakan frekuensi yang sama dengan macro atau femto lain yang berdekatan. Berikut merupakan pemodelan interferensi dari macro karena femto karena menggunakan frekuensi/sub-carrier yang sama sehingga terjadi CCI,



Gambar 3.3 Pemodelan Interferensi macro-femto

3.2.2 Penentuan Frekuensi Kerja

Jaringan LTE yang akan disimulasikan beroperasi pada frekuensi 2.6 GHz dengan bandwidth sebesar 10 MHz dan 20 MHz (sesuai skenario). Frekuensi 2.6 GHz FDD merupakan salah satu frekuensi yang digunakan pada LTE, yaitu menempati band 7 pada E-UTRA.

Tabel 3.1 Alokasi Frekuensi pada Band 7 [3GPP TS. 36.942]

eUTRA Band	UL Frequency (MHz)		DL Frequency (MHz)	
	Low	High	Low	High
1	1920	1980	2110	2170
...	...	...	...	...
7	2500	2570	2620	2690
...	...	...	...	...

3.2.3 Pathloss Model Outdoor

Berdasarkan frekuensi kerja dari jaringan maka *pathloss model* yang digunakan adalah Model propagasi kanal SUI (Stanford University Interim). SUI dapat digunakan oleh LTE. Model propagasi ini hanya berlaku untuk tinggi base station antara 10 m dan 80 m dan tinggi antena receiver antara 2 m dan 10 m. Pathloss untuk jarak yang lebih besar dari suatu jarak referensi (d_0) dapat dinyatakan sebagai:

$$PL_{out} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + 10\gamma\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (1)$$

Dimana:

$d_0 = 100$ m

λ = panjang gelombang di udara

d = radius sel

s = shadow fading

γ disebut faktor gamma dapat dituliskan sebagai:

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b} \quad (2)$$

Dimana h_b menyatakan tinggi base station dari permukaan tanah dan konstanta-konstanta a , b dan c dapat dipilih berdasarkan tipe permukaan tanah (terrain). ΔPL_f adalah faktor koreksi frekuensi dapat dituliskan sebagai:

$$\Delta PL_f = 6 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (3)$$

dan ΔPL_h adalah faktor koreksi tinggi antenna receiver dapat dituliskan sebagai :

$$\Delta PL_h = \begin{cases} -10,8 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right); \text{ type A dan B} \\ -20 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right); \text{ type C} \end{cases} \quad (4)$$

Dimana f menyatakan frekuensi operasi dan h menyatakan tinggi antenna MS.

3.2.4 Pathloss Model Indoor

Model propagasi yang digunakan dalam jaringan femto dapat menggunakan model propagasi indoor. Berikut ini adalah rumus propagasi yang digunakan;

$$PL_{ind} = 38,5 + 20 \log(d) + L_{walls} \quad (5)$$

Dimana:

$L_{walls} = 7$ dB, jika d pada 0 sampai 10 meter

$L_{walls} = 10$ dB, jika d pada 10 sampai 20 meter

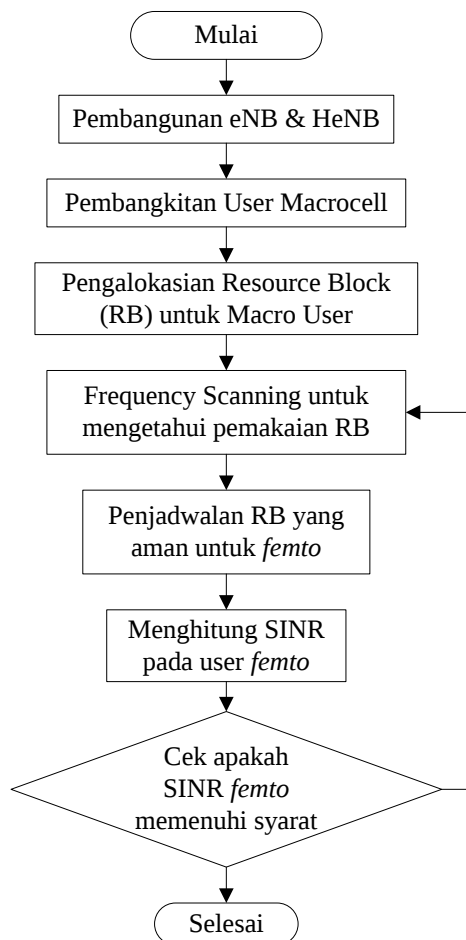
$L_{walls} = 15$ dB, jika d pada 20 sampai 30 meter

3.3 Pemodelan Skenario dan Metode Alokasi Frekuensi

Pemodelan jaringan yang dilakukan terdiri dari tiga scenario utama yaitu jumlah *user* pada jaringan macro yang bertambah, *bandwidth* yang digunakan 10 MHz dan 20 MHz, serta dengan digunakan atau tidaknya metode *frequency scheduling*. Skenario dibuat untuk membuktikan adanya pengaruh pengalokasian sub-carrier frekuensi terhadap performansi jaringan LTE femto.

3.3.1 Skenario Penggunaan *Frequency Scheduling*

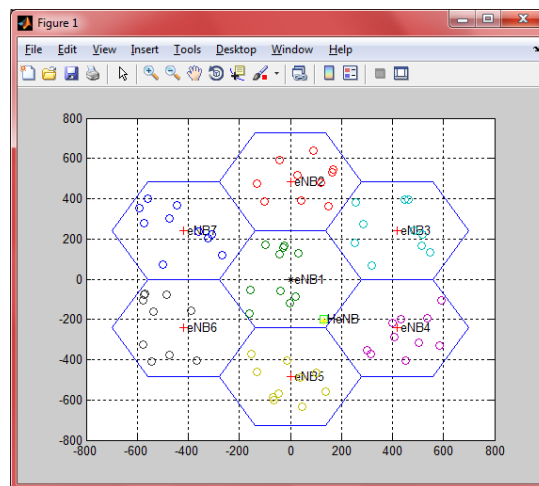
Skenario ini bertujuan untuk meneliti sejauh mana efek pengurangan interferensi (khususnya CCI) yang dapat dirasakan *femtocell* dengan adanya penambahan metode *frequency scheduling* dan yang tidak, pada pengalokasian frekuensi untuk *femtocell*. Kemudian penulis lakukan modifikasi terhadap algoritma *frequency scheduling* yang terdapat di referensi, sehingga algoritmanya menjadi seperti gambar dibawah ini:



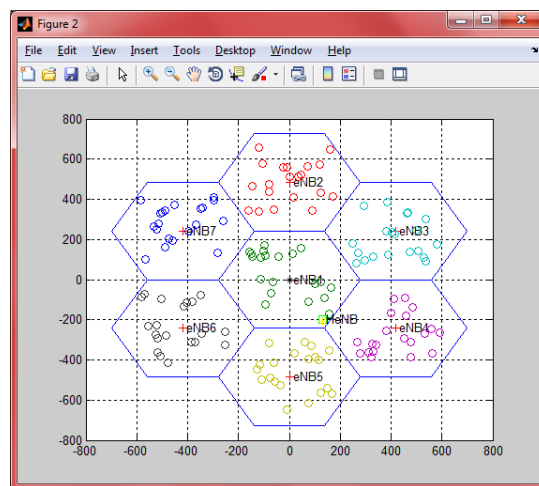
Gambar 3.4 Diagram Alur Metode *Frequency Scheduling*

3.3.2 Skenario Perubahan Kepadatan User Macrocell

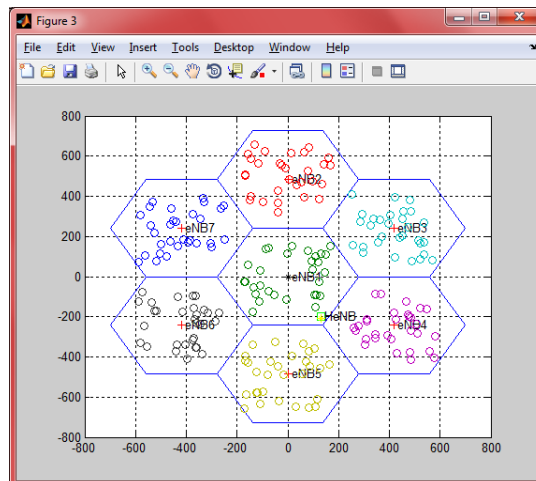
Untuk perubahan jumlah *user* yang berubah adalah jumlah *user* di *macrocell*, dengan perubahan dari 10 *user* hingga 50 *user*. Pertambahan jumlah *user* ini akan berakibat semakin banyak RB yang terpakai oleh *macrocell* sehingga besar kemungkinan terjadi pengulangan oleh *femtocell* di dekatnya. Hal ini berakibat interferensi, khususnya CCI, pada *femtocell* semakin besar. Berikut adalah ilustrasi jaringan untuk masing-masing scenario:



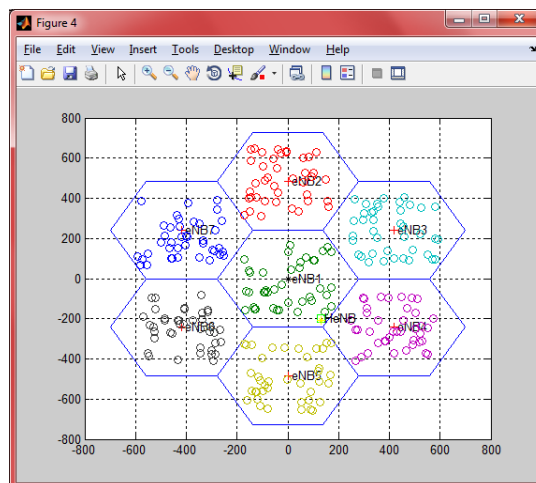
Gambar 3.5 Keadaan Jaringan dengan 10 *user* Aktif pada Tiap *Macrocell*



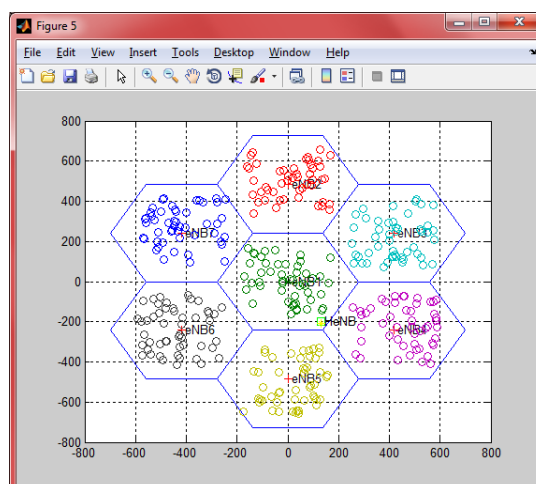
Gambar 3.6 Keadaan Jaringan dengan 20 *user* Aktif pada Tiap *Macrocell*



Gambar 3.7 Keadaan Jaringan dengan 30 user Aktif pada Tiap Macrocell



Gambar 3.8 Keadaan Jaringan dengan 40 user Aktif pada Tiap Macrocell



Gambar 3.9 Keadaan Jaringan dengan 50 user Aktif pada Tiap Macrocell

3.3.3 Skenario Perubahan Bandwidth

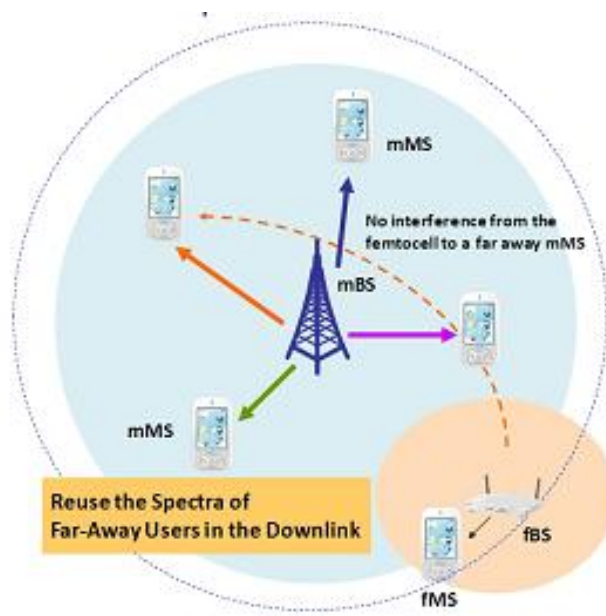
Terdapat dua skenario penggunaan BW pada simulasi Tugas Akhir ini, yang pertama dengan BW 10 MHz dan yang kedua dengan 20 MHz. Perbedaan lebar BW akan mempengaruhi jumlah RB yang tersedia. Kedua skenario ini bertujuan meneliti dampak lebar BW yang tersedia dengan besar interferensi, khususnya CCI, yang terjadi pada jaringan *macro-femto*. Berikut tabel perbandingan BW dengan jumlah RB yang tersedia:

Tabel 3.2 Perbandingan Lebar BW dan Jumlah RB

Channel Bandwidth [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Block (N_{RB})	6	15	25	50	75	100
Number of Occupied Subcarriers	72	180	300	600	900	1200
IDFT (Tx) / DFT (Rx) Size	128	256	512	1024	1536	2048

3.4 Lokasi Penempatan Femtocell

Menentukan lokasi penempatan *femtocell*, jarak dengan *macrocell*, model bangunan/in building (konstruksi, bahan penyusun gedung), jumlah *macrocell* yang akan dianalisa, radius *macrocell* dan *femtocell*, serta asumsi tidak ada proses *handover*.



Gambar 3.10 Lokasi penempatan femtocell daerah urban

BAB IV

ANALISIS HASIL SIMULASI

4.1 Analisis Pemodelan dan Simulasi

Pada Bab ini menjelaskan hasil simulasi yang dilakukan pada Bab sebelumnya dan memberikan analisis terhadap hasil tersebut. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Matlab 2010a.

Analisis dilakukan untuk dua skenario, dengan berbagai metode algoritma. Tujuan dari skenario ini adalah mengetahui performansi jaringan pada setiap skenario dengan melihat performansi femto yang ditempatkan pada cell edge macro (eNB1). Parameter analisis performansi dengan terlebih dahulu menghitung besarnya rugi-rugi lintasan (*pathloss*) yang terjadi di jaringan *macro* dan *femto*, kemudian melihat besarnya *Signal to Interference and Noise Ratio* (SINR) dan *throughput* yang dihasilkan oleh *user* pada jaringan *femtocell*.

4.2 Analisis *Pathloss*

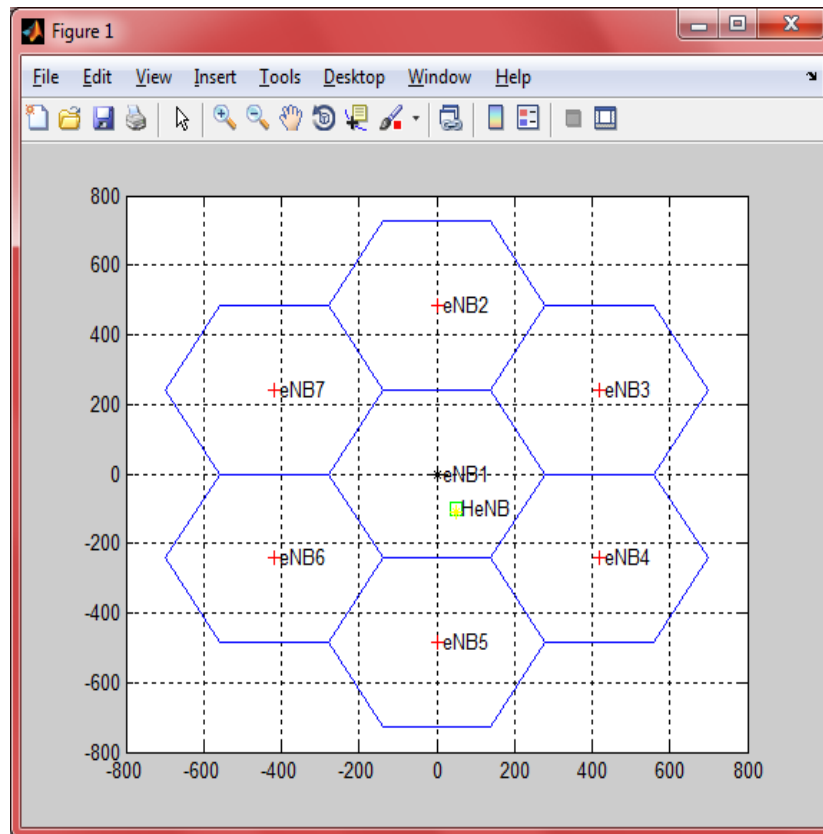
Terdapat beberapa skenario penempatan *femto* pada Tugas Akhir ini, setiap skenario mensimulasikan perbandingan nilai *pathloss* dengan jarak *femto* dari *serving eNB macro* tempat *femto* berada, eNB1.

Perhitungan *pathloss* menggunakan persamaan yang telah dibahas pada Bab sebelumnya. Dimana terdapat dua model propagasi, yaitu untuk lingkungan *outdoor* menggunakan persamaan:

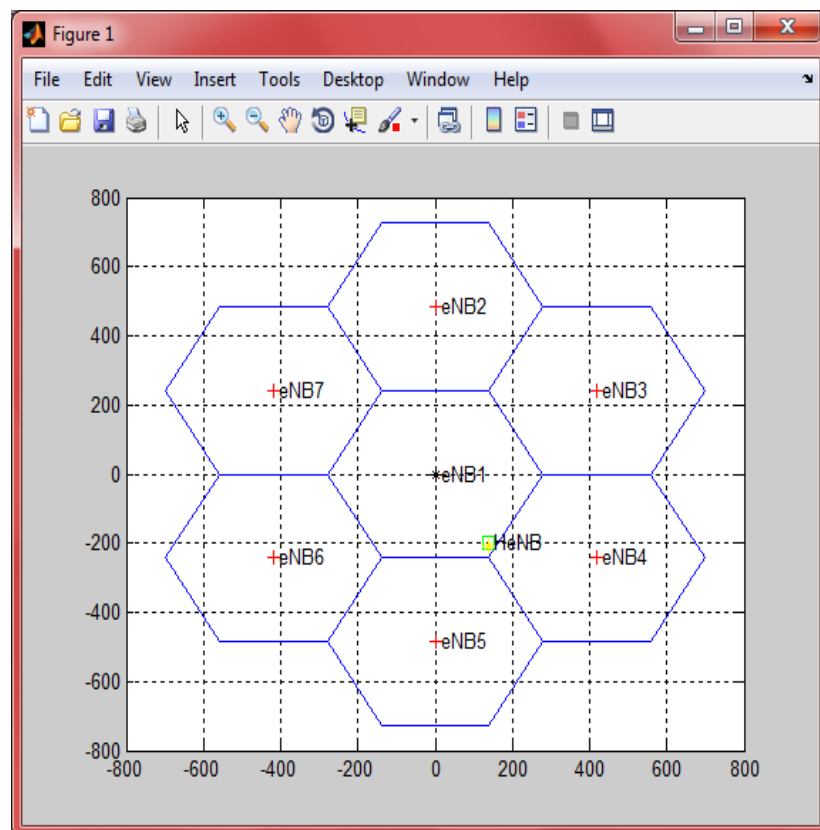
$$PL_{out} = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right) + 10\gamma\log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (1)$$

Sedangkan untuk lingkungan *indoor* menggunakan model propagasi dengan persamaan berikut:

$$PL_{ind} = 38,5 + 20\log(d) + L_{walls} \quad (2)$$



Gambar 4.1 Kondisi Jaringan Saat Femto di Tengah *Cell*



Gambar 4.2 Kondisi Jaringan Saat Femto di Tepi *Cell*

Perhitungan *pathloss* sendiri menggunakan persamaan yang telah dibahas pada Bab sebelumnya. *Pathloss* outdoor dimodelkan dengan model propagasi SUI sedangkan *pathloss* indoor dimodelkan dengan *indoor propagation* model, dan hasil yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.1** untuk penempatan femto ditengah cell dan **Tabel 4.2** untuk penempatan femto di pinggir cell. Selain itu, *layout* jaringan untuk posisi femto di tengah cell dapat dilihat pada **Gambar 4.1**, sedangkan untuk posisi femto berada di tepi cell *layout*-nya dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.

Channel gain G dipengaruhi oleh *pathloss* baik pada indoor dan outdoor. *Pathloss* untuk outdoor dimodelkan dengan kanal SUI, dimana d merupakan jarak dari BS ke user dalam meter. Untuk model *pathloss* indoor, dimana L_{wall} merupakan redaman yang nilainya adalah 7, 10, atau 15 dB. Jadi, *channel gain* dapat dinyatakan sebagai berikut;

$$G = 10^{-PL/10} \quad (3)$$

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Saat Femto di Tengah Cell

	Jarak ke User Femto (m)	Pathloss (dB)	Channel Gain (dBm)
HeNB	10	68.5000	11.6431
eNB1	148.6606	104.0269	9.8285
eNB2	603.3194	125.3192	9.0198
eNB3	476.0747	121.7186	9.1464
eNB4	346.3420	116.8827	9.3225
eNB5	388.0794	118.6122	9.2587
eNB6	536.6123	123.5381	9.0820
eNB7	628.2094	125.9337	8.9986
		Rata-rata (outdoor)	9.2366

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Saat Femto di Pinggir Cell

	Jarak ke User Femto (m)	Pathloss (dB)	Channel Gain (dBm)
HeNB	10	68.5000	11.6431
eNB1	252.3885	112.0724	9.5050
eNB2	708.9352	127.7712	8.9357
eNB3	532.1133	123.4101	9.0865
eNB4	281.8783	113.7522	9.4404
eNB5	308.5625	115.1270	9.3882
eNB6	560.9415	124.2121	9.0584
eNB7	719.9615	128.0058	8.9277
		Rata-rata (outdoor)	9.1917

Dari kedua tabel tersebut dapat dilihat bahwa posisi *femto* berpengaruh terhadap nilai *pathloss* yang dirasakan oleh UE *femto*. Hasil perhitungan menunjukkan semakin besar jarak antara *femto* dengan *macro* maka *pathloss* yang dirasakan semakin besar. Nilai *pathloss* sendiri berbanding terbalik dengan nilai *channel gain*. *Channel gain* akibat *pathloss* berpengaruh secara signifikan terhadap kondisi kanal propagasi, karena secara langsung nilainya turut dihitung dalam perhitungan SINR. Pada skenario berikutnya dapat diketahui apa hubungan nilai *pathloss* dan nilai SINR, namun dengan terlebih dahulu mengetahui alokasi dari *frequency carrier* dari tiap user *macro* dan *femto*. Karena komponen nilai interferensi pada perhitungan SINR juga dipengaruhi oleh penggunaan *frequency carrier*.

Namun, bila kita merunut ke persamaan SINR pada Bab sebelumnya, nilai *pathloss* berpengaruh terhadap nilai SINR secara langsung. Dimana, semakin besar *pathloss outdoor* maka semakin kecil *channel gain* yang mengakibatkan kuat sinyal penginterferensi melemah.