

**MANAJEMEN INTERFERENSI PADA TRANSMISI  
DOWNLINK JARINGAN SELULER *TWO-TIER* BERBASIS 4G  
LTE-ADVANCED DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
*POWER CONTROL***

(Skripsi)

Oleh

**DIKA FAUZIA**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## ABSTRAK

### MANAJEMEN INTERFERENSI PADA TRANSMISI *DOWNLINK* JARINGAN SELULER *TWO-TIER* BERBASIS 4G LTE-*ADVANCED* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *POWER CONTROL*

Oleh

DIKA FAUZIA

Semakin meningkatnya pengguna seluler mengharuskan operator untuk meningkatkan kapasitas jaringan. Salah satu solusi untuk meningkatkan kapasitas jaringan adalah dengan diterapkannya *femtocell* pada jaringan *macrocell*, yang membentuk jaringan *two-tier*. *Femtocell* merupakan sel dengan cakupan 10 – 30 meter yang bekerja pada frekuensi resmi dan mampu melayani 3 – 5 pengguna. Teknologi LTE-A (*Long Term Evolution-Advanced*) memungkinkan *macrocell* dan *femtocell* bekerja pada frekuensi yang sama (*Reuse Frequency Factor* 1). Namun, hal ini menimbulkan interferensi antara *macrocell* dan *femtocell*, baik interferensi *co-tier* maupun interferensi *cross-tier*.

Pada skripsi ini, dilakukan pemodelan dan simulasi menggunakan *software* MATLAB, tentang manajemen interferensi pada jaringan seluler *two-tier* antara *macrocell* dan *femtocell* dengan metode *power control* pada transmisi *downlink*. Metode *power control* bekerja dengan menaikkan ataupun menurunkan daya pancar untuk mencapai nilai QoS (*Quality of Service*) tertentu. Skripsi ini mempertimbangkan dua metode *power control* dengan nilai QoS target adalah SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) sebesar 0 dB yang merupakan nilai SINR untuk trafik *voice*. Selain SINR, dianalisis juga nilai *throughput* dan BER (*Bit Error Rate*). Skenario yang dianalisis diasumsikan terdapat sebuah jaringan multi-sel yang terdiri dari tiga *macrocell*, dengan pada setiap *macrocell* disebarkan 10 *femtocell*. Masing-masing *macrocell* melayani 30 pengguna dan *femtocell* melayani 4 pengguna.

Hasil simulasi menunjukkan metode *power control* mampu mengatasi permasalahan interferensi baik pada *macrocell* maupun *femtocell*. Hal ini ditandai dengan didapatkannya nilai SINR yang mendekati nilai SINR target dibandingkan sebelum diterapkannya metode *power control*. Peningkatan ataupun penurunan nilai SINR akan sebanding dengan nilai *throughput* dan berbanding terbalik dengan nilai BER.

Kata kunci: Jaringan Seluler *Two-Tier*, *Macrocell*, *Femtocell*, *Downlink*, OFDMA, *Power control*, SINR.

## **ABSTRACT**

### **INTERFERENCE MANAGEMENT IN DOWNLINK TRANSMISSION FOR TWO-TIER CELLULAR NETWORKS BASED ON 4G LTE-ADVANCED USING POWER CONTROL**

**By**

**DIKA FAUZIA**

The growing of mobile users require operators to increase network capacity. One solution to enhance capacity of network is deployment femtocell in macrocell network, forming two-tier network. Femtocell is a small cell with coverage 10 – 30 meters which is working on licensed frequency and is able to serve 3 – 5 users. LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) technology allows macrocell and femtocell working on same frequency. However, this raises interferences between macrocell and femtocell that are co-tier interference and cross-tier interference.

In this report, it was carried out modeling and simulation of interference management for two-tier femtocell-macrocell cellular networks on downlink transmission using MATLAB. Power control method works by raising or lowering transmit power to achieve target QoS (Quality of Service). This report considers two methods of power control with value of target SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) is 0 dB which is SINR value for voice traffic. Besides SINR, it is also analyzed throughput and BER (Bit Error Rate). The scenario was assumed a multi-cell network that consists of three macrocells, in which each macrocell is deployed 10 femtocells. A macrocell is serving 30 users and a femtocell is serving 4 users.

The simulation results show that power control methods were able to overcome interference problems both at macrocell and femtocell. It is characterized by the SINR values with power controls approaching target SINR value compared to results without power control method. The increase of or decrease of SINR value will be proportional with throughput and inversely proportional with BER.

Keywords: Two-Tier Cellular Networks, Macrocell, Femtocell, Downlink, OFDMA, Power control, SINR.

**MANAJEMEN INTERFERENSI PADA TRANSMISI  
DOWNLINK JARINGAN SELULER *TWO-TIER* BERBASIS 4G  
LTE-ADVANCED DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
*POWER CONTROL***

**Oleh**

**DIKA FAUZIA**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**



Judul Skripsi : **MANAJEMEN INTERFERENSI PADA  
TRANSMISI *DOWNLINK* JARINGAN  
SELULER *TWO-TIER* BERBASIS 4G LTE-  
*ADVANCED* DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE *POWER CONTROL***

Nama Mahasiswa : **Dika Fauzia**


Nomor Pokok Mahasiswa : 1215031022

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

  
**Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19710525 199903 1 001

  
**Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T.**  
NIP 19730118 200003 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

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



**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua**

**: Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.** .....



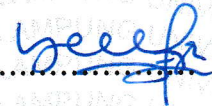
**Sekretaris**

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

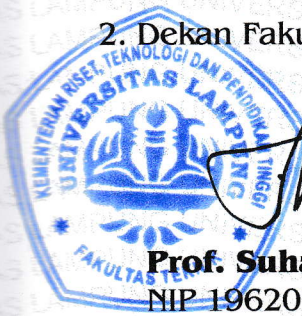


**Penguji**

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



**2. Dekan Fakultas Teknik**



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

**NIP 19620717 198703 1 002** ✓



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Februari 2017**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dika Fauzia

NPM : 1215031022

Jurusan/Program Studi : Teknik Elektro/S1

Dengan ini menyatakan bahwa saya dalam kegiatan sehari-hari memakai jilbab.

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk mengurus keperluan administrasi proses wisuda.

Mahasiswi,



Dika Fauzia  
NPM 1215031022

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Negararatu, Kabupaten Lampung Utara pada tanggal 3 Juli 1995, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari Bapak Edi Waluya dan Ibu Sukasih. Riwayat pendidikan lulus Sekolah Dasar (SD) di SDN 04 Negararatu pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMPN 01 Sungkai Utara pada tahun 2009, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 02 Kotabumi dan lulus pada tahun 2012. Pada tahun 2012, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN Undangan.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) dan merupakan anggota dari Departemen Sosial dan Kewirausahaan (Soswir) pada periode 2014/2015. Selain itu, penulis juga merupakan asisten di Laboratorium Teknik Telekomunikasi untuk praktikum Dasar Telekomunikasi serta Sistem Komunikasi pada tahun ajaran 2015/2016.

Pada Januari 2015, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kampung Sri Mulyo, Kecamatan Negara Batin, Kabupaten Way Kanan. Agustus 2015, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di Telkom IDeC Bandung, Jawa Barat dan mengambil judul “Analisis Pengaruh *Received Signal Strength* (RSS) Terhadap Nilai *Throughput*, Ping, dan *Response Time* pada Performansi Jaringan 4G LTE dan HSPA+/EVDO di Kota Bandung dan Jakarta”.





## PERSEMBAHAN

*Dengan ridho Allah SWT, skripsi ini ku persembahkan  
untuk:*

*Ayah dan Ibu Tercinta  
Edi Waluya & Sukasih*

*Kakak dan Adikku Tersayang  
Reni Mulyaningsih & Yoka Ahmad Fauzi*

*Nenek, Saudara, dan Orang-orang yang selalu  
mendukungku*





## MOTTO



*"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap"*  
(QS. Al-Insyirah: 5 - 8)

*"Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain."*  
(HR. Ahmad)

*"Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui."*  
(QS. Al-Baqarah: 216)



*"Sesungguhnya Allah berfirman: "Aku sebagaimana prasangka hamba-Ku kepada-Ku. Aku bersamanya jika ia berdo'a kepada-Ku"."*  
(HR. Turmudzi)



## SANWACANA

*Alhamdulillahillobbil'alamin*, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya telah memberikan kekuatan dan kemampuan berpikir sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam tak lupa penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, karena dengan perantarnya kita semua dapat merasakan indahnya kehidupan ini.

Skripsi dengan judul “Manajemen Interferensi pada Transmisi *Downlink* Jaringan Seluler *Two-Tier* Berbasis 4G LTE-Advanced Menggunakan Metode *Power Control*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung. Selama proses pengerjaan skripsi, penulis mendapat banyak bantuan pemikiran, semangat, serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, MSc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung,
2. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T.,M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro serta dosen pada konsentrasi Telekomunikasi atas ilmu yang telah diberikan selama ini,
3. Bapak Herman Halomoan S., S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro,

4. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku pembimbing utama yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan arahan, saran, ilmu, dan masukan bagi penulis selama proses pengerjaan skripsi,
5. Ibu Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua yang telah banyak memberikan ilmu, arahan, saran dan kritik yang membangun dalam pengerjaan skripsi,
6. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T, selaku penguji utama dan Dosen Pembimbing Akademik yang juga telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian skripsi,
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, atas ilmu yang telah diberikan selama di bangku perkuliahan.
8. Ayah dan Ibu, yang selalu memberikan semangat, do'a, dan dukungan baik moril ataupun materil sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini,
9. Mamak, Mbak Reni, dan Dek Oka yang juga selalu memberikan do'a dan dukungan kepada penulis,
10. Mbak Ilma, Dek Mamat, Mbak Helda, Mas Ragil, dan saudara-saudara sepupu lainnya yang telah banyak membantu penulis dan memberikan saran dalam pengerjaan skripsi,
11. Bulek Yuni, Pakde Nuzul, Om Imam, dan Bude Yanti yang selama ini telah memberikan do'a dan dukungan untuk penulis,
12. Cewek-cewek elektro angkatan 2012, Bella, Desi, Gusti, Risda, Ratih, dan Windy yang selama ini menjadi tempat untuk berkeluh kesah. Terima kasih untuk kebersamaan dan dukungan kalian,



13. Rekan-rekan dan keluarga seperjuangan teknik elektro angkatan 2012 yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebersamaan dan canda tawanya. Semoga kita semua bisa mencapai apa yang kita cita-citakan, Aamiin,
14. Teman-teman angkatan 2012 di Lab. Telkom, Ratih, Risda, Angga, Fiki, Andri, Gifinri, dan Taufik yang telah banyak melewati suka duka bersama,
15. Segenap anggota Lab. Telkom, Mbak Alin, Mbak Nida, Kak Sigit, Mbak Rina, Adit, Yoseph, dan lainnya. Terima kasih untuk kebersamaannya,
16. Rekan-rekan satu bimbingan, Kak Pras, Risda, Niken, Yona, Andri, dan Taufik. Terima kasih untuk dukungan dan kebersamaannya selama ini,
17. Semua Pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu serta memberikan doa pada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 23 Februari 2017

Penulis,

Dika Fauzia

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
HALAMAN JUDUL .....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN .....	iv
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
RIWAYAT HIDUP .....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
SANWACANA .....	x
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR SINGKATAN .....	xxvi
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Skripsi .....	3
1.3 Manfaat Skripsi .....	3
1.4 Rumusan Masalah .....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5

<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 Kajian Pustaka pada Penelitian yang Berkaitan .....	7
2.2 Konsep Seluler .....	10
2.3 Interferensi dan Kapasitas Sistem .....	13
2.4 Peningkatan Kapasitas pada Sistem Seluler.....	14
2.5 <i>Femtocell</i> .....	15
2.6 Interferensi pada Jaringan Seluler <i>Two-Tier</i> .....	20
2.7 <i>LTE-Advanced</i> .....	23
2.8 Metode <i>Power Control</i> .....	26
2.9 <i>Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)</i> .....	27
2.10 Model <i>Path Loss</i> .....	28
2.11 <i>Noise</i> .....	29
2.12 <i>Throughput</i> .....	30
2.13 <i>Bit Error Rate (BER)</i> .....	30
2.14 <i>Cumulative Distribution Function (CDF) dan Complementary CDF (CCDF)</i> .....	31
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	32
3.2 Alat dan Bahan .....	32
3.3 Metode Penelitian.....	33
3.4 Parameter Simulasi.....	38
3.5 Pembangunan Sistem .....	39
3.6 Perhitungan SINR .....	42
3.7 Perhitungan <i>Throughput</i> dan <i>Bit Error Rate (BER)</i> .....	44

3.8	Skenario Interferensi .....	45
3.9	Metode <i>Power Control</i> .....	46
3.10	Diagram Alir Pengerjaan Skripsi .....	48
3.11	Diagram Simulasi Sistem.....	51
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>53</b>
4.1	Skenario-1 .....	53
4.2	Skenario-2 .....	102
4.3	Skenario-3 .....	124
4.4	Ringkasan dari Perbandingan Hasil SINR, <i>Throughput</i> , dan BER pada Skenario-1, Skenario-2, dan Skenario-3 .....	148
<b>V.</b>	<b>SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>151</b>
5.1	Simpulan.....	151
5.2	Saran .....	152

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Perbandingan Kualitas Metode Manajemen Interferensi pada Femtocell.....	8
2.2 Nilai SINR untuk Beberapa Tipe Trafik.....	28
3.1 Kasus yang mungkin terjadi pada Model Skenario Simulasi.....	34
3.2 Model Skenario yang Dianalisis .....	35
3.3 Parameter yang Digunakan pada Pemodelan Sistem .....	39
3.4 Skema Interferensi Skenario-1 .....	45
3.5 Skema Interferensi Skenario-2 .....	45
3.6 Skema Interferensi Skenario-3 .....	45
4.1 Skema Interferensi Skenario-1 .....	54
4.2 Jarak FUE-1 ke beberapa BTS (eNB dan HeNB) sebelum Menggunakan Metode <i>Power Control</i> .....	55
4.3 <i>Path loss</i> pada FUE-1 dari beberapa BTS (eNB dan HeNB) sebelum menggunakan Metode <i>Power Control</i> .....	57
4.4 Nilai <i>S</i> dan <i>I</i> pada FUE-1 tanpa Menggunakan Metode <i>Power Control</i> .....	62
4.5 Hasil SINR pada FUE-1 tanpa Menggunakan Metode <i>Power Control</i> .....	63
4.6 Perhitungan Nilai CDF SINR <i>Co-Tier</i> tanpa menggunakan Metode <i>Power Control</i> .....	64
4.7 Jarak FUE-1 ke beberapa BTS (eNB dan HeNB) saat $t=1$ dengan Metode <i>Power Control-1</i> .....	65

4.8	<i>Path loss</i> pada FUE-1 dari beberapa BTS (eNB dan HeNB) dengan Metode <i>Power Control-1</i> saat $t=1$ .....	66
4.9	Nilai <i>S</i> dan <i>I</i> pada FUE-1 saat $t=1$ dengan Metode <i>Power Control-1</i> .....	66
4.10	Hasil SINR pada FUE-1 dengan Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada $t=1$ .....	67
4.11	Hasil SINR pada FUE-1 dengan Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada $t=2$ .....	67
4.12	Jarak FUE-1 ke beberapa BTS (eNB dan HeNB) saat $t=1$ menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> .....	72
4.13	<i>Path loss</i> pada FUE-1 dari beberapa BTS (eNB dan HeNB) dengan menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> saat $t=1$ .....	73
4.14	Nilai <i>S</i> dan <i>I</i> pada FUE-1 saat $t=1$ menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> .....	74
4.15	Hasil SINR pada FUE-1 dengan Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada $t=1$ .....	74
4.16	Hasil SINR pada FUE-1 dengan Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada $t=2$ .....	75
4.17	Hasil <i>Throughput</i> pada FUE-1 tanpa menggunakan Metode <i>Power Control</i> .....	81
4.18	Hasil <i>Throughput</i> pada FUE-1 dengan menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> .....	81
4.19	Hasil <i>Throughput</i> pada FUE-1 dengan menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> .....	85
4.20	Hasil BER pada FUE-1 tanpa menggunakan Metode <i>Power Control</i> .....	90
4.21	Hasil BER pada FUE-1 dengan menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> .....	91
4.22	Hasil BER pada FUE-1 dengan menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> .....	94
4.23	Skema Interferensi Skenario-2 .....	100

4.24	Skema Interferensi Skenario-3 .....	124
4.25	Nilai CDF SINR pada Skenario-1 .....	148
4.26	Nilai CDF <i>Throughput</i> pada Skenario-1 .....	148
4.27	Nilai CCDF BER pada Skenario-1 .....	148
4.28	Nilai CDF SINR pada Skenario-2 .....	149
4.29	Nilai CDF <i>Throughput</i> pada Skenario-2 .....	149
4.30	Nilai CCDF BER pada Skenario-2 .....	149
4.31	Nilai CDF SINR pada Skenario-3 .....	149
4.32	Nilai CDF <i>Throughput</i> pada Skenario-3 .....	150
4.33	Nilai CCDF BER pada Skenario-3 .....	150

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 <i>Cluster</i> yang Terdiri dari Tujuh Sel.....	10
2.2 Bentuk sel: (a) Model Analisis; (b) Ideal dan (c) Nyata.....	11
2.3 Pembagian Sel Berdasarkan Cakupan Wilayahnya.....	11
2.4 <i>Conventional Frequency Reuse</i> dengan Faktor 1 .....	12
2.5 <i>Conventional Frequency reuse</i> dengan Faktor 3 .....	13
2.6 <i>Femtocell Access Point (FAP)</i> .....	16
2.7 Perbandingan Cakupan Area: (A) <i>Macrocell</i> , (B) <i>Repeater</i> dan (C) <i>Femtocell</i> pada Gedung Bertingkat.....	17
2.8 Arsitektur <i>Femtocell</i> berbasis <i>LTE-Advanced</i> .....	18
2.9 Jenis Interferensi yang Terjadi pada Jaringan Seluler <i>Two-Tier</i> .....	21
2.10 Interferensi <i>Co-Tier</i> pada Jaringan <i>Two-Tier</i> .....	22
2.11 Interferensi <i>Cross-Tier</i> pada Jaringan <i>Two-Tier</i> .....	22
2.12 Alokasi Sumber OFDMA pada <i>LTE-Advanced</i> .....	25
3.1 Pemodelan Sistem ketika Semua <i>Macrocell</i> dan <i>Femtocell Downlink</i> .....	36
3.2 Pemodelan Sistem ketika Semua <i>Macrocell Downlink</i> , <i>Femtocell 1 Downlink</i> , <i>Femtocell 2</i> dan <i>3 Uplink</i> .....	36
3.3 Pemodelan Sistem ketika <i>Macrocell 1 Downlink</i> , <i>Macrocell 2</i> dan <i>3 Uplink</i> , Semua <i>Femtocell Downlink</i> .....	37
3.4 Model Sistem.....	39



3.5	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	48
3.6	Diagram Alir Simulasi Sistem tanpa Menggunakan Metode <i>Power Control</i> pada <i>Femtocell</i> dan <i>Macrocell</i> .....	49
3.7	Diagram Alir Simulasi Sistem dengan Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada <i>Femtocell</i> dan <i>Macrocell</i> .....	50
3.8	Diagram Alir Simulasi Sistem dengan Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada <i>Femtocell</i> dan <i>Macrocell</i> .....	51
4.1	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	69
4.2	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	69
4.3	Grafik CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	69
4.4	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	76
4.5	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	76
4.6	Grafik CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	76
4.7	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-1 ....	78
4.8	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-1 ....	79
4.9	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control</i> 1 dan 2 pada Skenario-1 ....	79
4.10	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	82
4.11	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	82
4.12	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	82
4.13	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i>	

	Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	85
4.14	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	86
4.15	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	86
4.16	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-1 ....	88
4.17	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-1 .....	88
4.18	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-1 ....	89
4.19	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	91
4.20	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	92
4.21	Grafik CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-1 .....	92
4.22	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	95
4.23	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	96
4.24	Grafik CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-1 .....	96
4.25	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control 1</i> dan 2 pada Skenario-1 ....	98
4.26	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> dengan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-1 .....	98
4.27	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control 1</i> dan 2 pada Skenario-1 ....	99
4.28	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-2.....	100

4.29	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-2.....	101
4.30	Grafik CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-2.....	101
4.31	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-2.....	103
4.32	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-2.....	104
4.33	Grafik CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-2.....	104
4.34	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control 1</i> dan 2 pada Skenario-2 ....	106
4.35	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> dengan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-2 .....	107
4.36	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-2 ....	107
4.37	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-2.....	108
4.38	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-2.....	109
4.39	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-2.....	109
4.40	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-2.....	111
4.41	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-2.....	112
4.42	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-2.....	112
4.43	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-2 ....	114
4.44	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-2.....	115

4.45	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 dan 2 pada Skenario-2 ....	115
4.46	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 pada Skenario-2.....	116
4.47	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 pada Skenario-2.....	117
4.48	Grafik CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 pada Skenario-2.....	117
4.49	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -2 pada Skenario-2.....	119
4.50	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -2 pada Skenario-2.....	120
4.51	Grafik CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -2 pada Skenario-2.....	120
4.52	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> 1 dan 2 pada Skenario-2 ....	122
4.53	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> dengan Metode <i>Power Control</i> -1 dan 2 pada Skenario-2 .....	123
4.54	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 dan 2 pada Skenario-2 ....	123
4.55	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 pada Skenario-3.....	125
4.56	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 pada Skenario-3.....	125
4.57	Grafik CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -1 pada Skenario-3.....	125
4.58	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -2 pada Skenario-3.....	127
4.59	Grafik CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -2 pada Skenario-3.....	128
4.60	Grafik CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control</i> -2 pada Skenario-3.....	128



4.61	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 ....	130
4.62	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> dengan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 .....	131
4.63	Perbandingan Nilai CDF SINR dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 ....	131
4.64	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-3 .....	132
4.65	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-3 .....	132
4.66	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-3 .....	133
4.67	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-3 .....	135
4.68	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-3 .....	135
4.69	Grafik CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-3 .....	136
4.70	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 ....	138
4.71	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 .....	138
4.72	Perbandingan Hasil CDF <i>Throughput</i> dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 ....	139
4.73	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-3 .....	140
4.74	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-3 .....	140
4.75	Grafik CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> pada Skenario-3 .....	141
4.76	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan	

	Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-3.....	143
4.77	Grafik CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-3.....	143
4.78	Grafik CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-2</i> pada Skenario-3 .....	144
4.79	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi <i>Co-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 ....	146
4.80	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi <i>Cross-Tier</i> Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 ....	146
4.81	Perbandingan Hasil CCDF BER dengan Interferensi Total Menggunakan Metode <i>Power Control-1</i> dan 2 pada Skenario-3 ....	147

## DAFTAR SINGKATAN

- 4 G : *Fourth Generation*, adalah generasi ke-empat jaringan nirkabel untuk komunikasi *mobile*
- WiMAX : *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, yaitu teknologi jaringan *wireless* yang memiliki kecepatan akses yang tinggi dan jangkauan yang luas
- LTE : *Long Term Evolution*, adalah sebuah standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi yang berbasis pada jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA
- OFDMA : *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*, adalah teknik *multiple access* yang memungkinkan banyak pengguna berbagi dalam *bandwidth* yang sama. Pada LTE, teknologi OFDMA digunakan untuk transmisi *downlink*
- SINR : *Signal to Interference plus Noise Ratio*, merupakan rasio perbandingan dari besarnya daya yang diharapkan (S) dibagi dengan daya interferensi (I) dan daya *noise* (N)

- QoS : *Quality of Service*, yaitu parameter uji kelayakan pada suatu layanan agar dikatakan baik
- BER : *Bit Error Rate*, adalah perbandingan dari jumlah kesalahan bit dibagi dengan jumlah total bit yang dikirim pada interval waktu tertentu
- eNB : *evolved Node B*, adalah perangkat keras pada LTE yang terhubung ke jaringan ponsel yang berkomunikasi langsung secara nirkabel dengan UE.
- HeNB : *Home evolved Node B*, adalah perangkat keras pada *femtocell* dengan fungsi yang sama seperti eNB
- BTS : *Base Transceiver Station*, merupakan sebuah infrastruktur telekomunikasi yang memfasilitasi komunikasi nirkabel antara piranti komunikasi dan jaringan operator
- FAP : *Femtocell Access point*, yaitu BTS pada *femtocell*
- UE : *User Equipment*, yaitu perangkat yang digunakan oleh pelanggan (*user*) dalam proses telekomunikasi untuk dapat memperoleh layanan komunikasi bergerak
- PL : *Path Loss*, merupakan rugi-rugi yang disebabkan oleh jarak dari pengirim ke penerima

- CDF : *Cumulative Distribution Function*, merupakan probabilitas bahwa nilai variabel acak  $X$  akan mengambil nilai kurang dari atau sama dengan suatu nilai konstanta  $x$ ,
- CCDF : *Complementary Cumulative Distribution Function*, yaitu probabilitas bahwa nilai  $X$  akan mengambil nilai yang lebih besar dari suatu konstanta nilai  $x$
- MUE : *Macrocell User Equipment*, adalah UE pada *macrocell*
- FUE : *Femtocell User Equipment*, adalah UE pada *femtocell*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Teknologi seluler terus mengalami perkembangan seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan, teknologi, dan juga kebutuhan masyarakat. Saat ini teknologi seluler telah sampai pada generasi ke-empat (*Fourth Generation/4G*) seperti WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) maupun LTE (*Long Term Evolution*) / *LTE-Advanced*, di mana dalam pengembangannya LTE lebih banyak digunakan dibandingkan dengan WiMAX.

Berdasarkan survei yang telah dilakukan oleh E-Marketer, Indonesia merupakan salah satu negara dengan pengguna *smartphone* terbesar, yaitu urutan ke-tiga di Asia Pasifik dengan jumlah 55,4 juta pengguna pada tahun 2015 dan diprediksi akan mencapai 92 juta pengguna pada tahun 2019 [1]. Semakin banyaknya pengguna seluler, maka operator harus meningkatkan kapasitas sistem milik mereka. Salah satu caranya adalah dengan memperkecil cakupan sel. Selain itu, di era yang semakin modern ini pengguna layanan komunikasi seluler terutama pada daerah urban kebanyakan berada di dalam ruangan, seperti di dalam gedung perkantoran, di dalam sekolah, maupun di dalam rumah. Juga, permintaan akan sambungan baru dari pengguna komunikasi seluler terus meningkat. Semakin banyaknya penggunaan komunikasi seluler maka kualitas akses layanan data

maupun suara tentu akan semakin menurun, terlebih untuk area *indoor* karena sinyal yang diterima terpengaruh oleh dinding bangunan. Salah satu solusi untuk menangani lemahnya akses layanan data pada area *indoor* adalah dengan menerapkan *femtocell*.

*Femtocell* merupakan sel dengan cakupan yang sangat kecil melalui penggunaan teknologi mini BTS (*Base Transceiver Station*) yang dipasang di dalam ruangan dengan menggunakan frekuensi resmi dan digunakan untuk memperluas cakupan jaringan maupun meningkatkan kapasitas pada area *indoor* [2]. Selain pengguna yang ada dalam ruangan, para pengguna yang ada di tepi *macrocell* juga rentan terhadap gangguan karena lemahnya sinyal yang diterima. Dengan diterapkannya *femtocell* diharapkan dapat membantu para pengguna-pengguna tersebut.

*Femtocell* secara umum disebarakan pada daerah cakupan *macrocell*. Namun, penggunaan *femtocell* pada area *macrocell* ini tentu akan mengganggu performansi dari jaringan *macrocell* dan *femtocell* itu sendiri. Gangguan yang terjadi adalah gangguan antar *tier* (*co-tier*) seperti jaringan *femtocell* satu dengan *femtocell* lainnya maupun jaringan *macrocell* satu dengan *macrocell* lainnya, ataupun gangguan dengan beda *tier* (*cross-tier*) seperti jaringan *femtocell* dengan *macrocell*. Maka dari itu, pada skripsi ini akan dilakukan analisis interferensi dan cara mengurangi interferensi yang terjadi pada *femtocell* (baik *co-tier* maupun *cross-tier*) dengan menggunakan metode *power control* yang ditandai oleh nilai parameter SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) pada teknologi jaringan LTE-Advanced. Selain itu juga, untuk memastikan bahwa dengan digunakannya *femtocell* tidak menurunkan kualitas jaringan pada area *macrocell*. Skripsi ini hanya akan menganalisa interferensi pada bagian transmisi *downlink* di mana teknologi



OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) digunakan seperti yang dipakai pada 4G LTE-*Advanced*.

## 1.2 Tujuan Skripsi

Adapun tujuan penelitian pada skripsi ini adalah:

1. Menganalisis interferensi yang terjadi antara *femtocell* dan *macrocell* pada sisi *downlink* pengguna layanan *femtocell* dan *macrocell*,
2. Menganalisis pengaruh metode *power control* pada pengguna layanan *femtocell* dan *macrocell* dalam mencapai nilai *Signal to Interferences Noise Ratio* (SINR) target sebesar 0 dB.

## 1.3 Manfaat Skripsi

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh metode *power control* dalam menangani interferensi transmisi *downlink* pada pengguna layanan *femtocell* dan *macrocell*,
2. Sebagai saran untuk operator dalam meningkatkan kapasitas jaringan di area *indoor*.

#### 1.4 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penulisan skripsi ini adalah:

1. Bagaimana menganalisis interferensi yang terjadi pada transmisi *downlink* pengguna layanan *macrocell* sebelum dan setelah diterapkannya layanan *femtocell*,
2. Bagaimana cara kerja metode *power control* dalam menangani masalah interferensi pada jaringan *two-tier femtocell* dan *macrocell* pada saat transmisi *downlink*,
3. Bagaimana membandingkan nilai SINR yang didapat pada pengguna layanan *macrocell* sebelum dan setelah diterapkannya layanan *femtocell*,
4. Bagaimana membandingkan nilai SINR sebelum dan setelah digunakannya metode *power control*.

#### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penulisan skripsi ini yaitu:

1. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* MATLAB,
2. Parameter yang digunakan sesuai dengan parameter pada LTE-Advanced,
3. Diasumsikan jaringan homogen *two-tier femtocell* berada pada daerah cakupan *macrocell* yang bersebelahan dengan *macrocell* lainnya. Jumlah *macrocell* yang dipertimbangkan adalah tiga buah *macrocell*, di mana pada masing-masing *macrocell* terdapat sepuluh buah *femtocell*,
4. Dari kondisi seperti pada poin 3 di atas, hanya ada satu proses *downlink femtocell* dan *macrocell* yang akan diamati,

5. Metode *power control* hanya diterapkan pada satu *macrocell*, sedangkan dua *macrocell* lainnya diasumsikan tidak menggunakan metode *power control*,
6. Jumlah *user* yang dipertimbangkan adalah 30 *user* untuk layanan *macrocell* dan 4 *user* untuk layanan *femtocell*,
7. *Femtocell* dan *macrocell* memiliki frekuensi kerja yang sama dengan *Frequency Reuse Factor* adalah 1 (RF=1),
8. Diasumsikan metode akses yang digunakan oleh *femtocell* adalah *closed access*, sehingga hanya pemilik *Femtocell Access Point* dan *user* yang didaftarkan oleh pemilik saja yang dapat mengakses layanan *femtocell*,
9. Diasumsikan tidak terjadi *handover* antara *macrocell* dengan *femtocell*,
10. Interferensi dianalisis pada arah *downlink femtocell* dan *macrocell* yang menggunakan teknologi OFDMA,
11. *Quality of Service* (QoS) yang dianalisis adalah nilai SINR, *throughput*, dan *Bit Error Rate* (BER), dengan nilai SINR target sebesar 0 dB,
12. Nilai QoS yang dihitung hanya pada *macrocell-1* saja, sedangkan pada *macrocell-2* dan *macrocell-3* nilai QoS tidak dihitung.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### BAB I. PENDAHULUAN

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

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat tinjauan literatur dari beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik pada skripsi ini, seperti konsep seluler, konsep dasar *femtocell*, interferensi yang terjadi pada jaringan *two-tier macrocell* dan *femtocell*, metode *power control*, SINR, *throughput*, dan BER.

## BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat tentang langkah-langkah penelitian yang dilakukan, seperti pemodelan sistem, diagram alir pengerjaan penelitian, diagram alir simulasi sistem, penjelasan sistem dan skenario simulasi sistem.

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dari simulasi yang dilakukan dan pembahasan hasil simulasi tersebut.

## BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang intisari dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan. Selain itu terdapat juga saran dari penelitian yang telah dilakukan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Kajian Pustaka pada Penelitian yang Berkaitan**

Penelitian dan pengembangan teknologi mengenai manajemen interferensi pada jaringan *two-tier femtocell* dan *macrocell* telah dilakukan secara luas dalam beberapa tahun terakhir. Penanganan masalah interferensi pada *femtocell* dapat dilakukan dengan beberapa metode [3], seperti dengan *Fractional Frequency Reuse* (FFR), penjadwalan frekuensi, maupun *power control*.

Penyebaran *femtocell* pada area *macrocell* dapat menimbulkan beberapa tantangan teknis. Salah satu tantangannya adalah timbulnya gangguan antara satu *femtocell* dan *femtocell* tetangga lainnya (disebut dengan interferensi *co-tier*), maupun *femtocell* dengan *macrocell* (disebut dengan interferensi *cross-tier*). Penulis pada [3] melakukan survei literatur tentang interferensi yang terjadi pada *femtocell* dan memberikan perbandingan beberapa metode yang tepat untuk mengurangi interferensi pada *femtocell* berbasis *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Kualitas Metode Manajemen Interferensi pada *Femtocell* [3]

No	Metode	Mode Transmisi	Hubungan HeNB dan eNB	Mode Akses	Tingkat Kompleksitas	Efisiensi	Jenis Interferensi
1	<i>Femto-aware spectrum management</i>	<i>Uplink</i>	Dibutuhkan	<i>Closed</i>	Sedang	Rendah	<i>Cross-tier</i>
2	<i>Clustering of femtocells</i>	<i>Downlink</i>	Dibutuhkan	<i>Closed</i>	Sedang	Sedang	<i>Co-tier dan cross-tier</i>
3	<i>Beam subset selection strategy</i>	<i>Downlink</i>	Tidak dibutuhkan	<i>Closed</i>	Tinggi	Sedang	<i>Cross-tier</i>
4	<i>Collaborative frequency scheduling</i>	<i>Uplink dan downlink</i>	Tidak dibutuhkan	<i>Closed</i>	Sedang	Tinggi	<i>Cross-tier dan inter-carrier</i>
5	<i>Power control</i>	<i>Downlink</i>	Tidak dibutuhkan	<i>Closed dan open</i>	Sedang	Tinggi	<i>Cross-tier</i>
6	<i>Cognitive</i>	<i>Downlink</i>	Dibutuhkan	<i>Closed dan open</i>	Sedang	Sedang	<i>Cross-tier</i>
7	<i>Fractional frequency reuse</i>	<i>Downlink</i>	Tidak dibutuhkan	<i>Closed, Open, dan Hybrid</i>	Rendah	Tinggi	<i>Co-tier dan cross-tier</i>

Interferensi pada *femtocell* dapat diatasi dengan beberapa jenis metode, di mana masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1 di atas.

Penulis pada [4] melakukan simulasi dan analisis kinerja *power control* untuk mengurangi interferensi pada LTE *femtocell*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan teknik *power control* dapat memperbaiki kualitas sinyal dan meningkatkan nilai *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) target pada *femtocell*, di mana analisis interferensi yang diukur adalah pada transmisi *downlink*

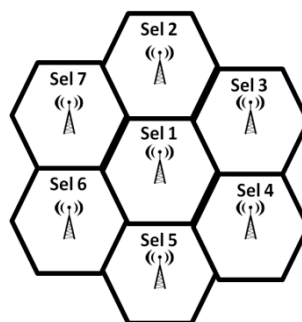
*femtocell*. Pada artikel ini, nilai SINR dihitung dari pemodelan jaringan multi-sel yang terdiri dari beberapa *femtocell* dan *macrocell* dan dihitung berdasarkan jarak antara makro *Base Station* (BS) dan femto *Base Station* (BS), jumlah makro BS penginterferensi, dan jumlah femto BS penginterferensi. Studi kasus pada artikel ini diasumsikan bahwa lokasi pengembangan pada skenario penempatan *macrocell* dan *femtocell* berada di daerah rural, sub-urban, dan urban. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode *power control* dapat meningkatkan SINR target yaitu sebesar 6 dB.

Penulis pada [5] melakukan penelitian mengenai penerapan metode *power control* sebagai manajemen interferensi *femtocell* berbasis jaringan LTE-Advanced pada sisi *uplink*. Hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB, dan diperoleh hasil bahwa metode *power control* mampu memperbaiki kinerja sistem LTE-Advanced, efektif mengurangi interferensi, dan meningkatkan SINR baik pada jaringan *macrocell* maupun *femtocell*. Pemodelan sistem pada penelitian ini menggunakan satu *macrocell* yang di dalamnya terdapat beberapa *femtocell*. Terdapat tiga kondisi yang diamati, yaitu ketika *user* penginterferensi berjumlah 15, 20, dan 25, di mana masing-masing *user* sedang melakukan transmisi baik *downlink* maupun *uplink*. Parameter yang diukur dalam skenario pemodelan adalah SINR, *throughput*, dan *Bit Error Rate* (BER) pada sistem LTE-Advanced. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *power control* mampu memperbaiki kinerja sistem yang ditunjukkan dengan bertambahnya nilai SINR sebesar 50%. SINR pada eNB bernilai di atas 30 dB setelah sebelumnya hanya 25 dB, sedangkan pada HeNB nilai SINR bernilai di atas 60 dB setelah sebelumnya hanya 30 dB, di mana peningkatan SINR seiring dengan peningkatan parameter performansi lain.



## 2.2 Konsep Seluler

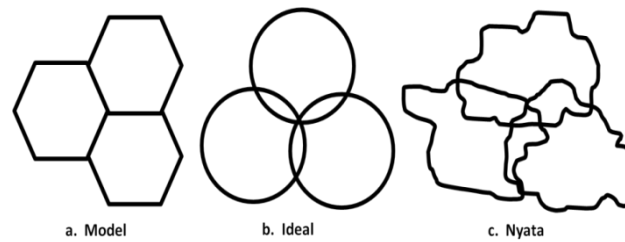
Seluler adalah suatu sistem komunikasi yang dapat memberikan layanan komunikasi baik data, suara, maupun video di mana akses pelanggan dapat dilakukan dalam keadaan bergerak sehingga tidak bergantung pada media fisik (contoh: kabel) [6]. Kata “seluler” terbentuk dari kata “sel” yang berarti beberapa wilayah cakupan (sel) kecil. Sistem seluler terbagi atas sel-sel kecil. Dengan adanya pembagian sel ini maka pengguna dapat melakukan komunikasi dengan lancar tanpa khawatir pemutusan sambungan saat melakukan hubungan komunikasi dengan pengguna lain. Pembagian suatu wilayah menjadi beberapa sel disebut dengan *cluster*, di mana dalam sistem komunikasi seluler terdapat beberapa macam *cluster* yang dibagi berdasarkan jumlah sel dalam *cluster* tersebut, di antaranya 4, 7, dan 12 sel dalam *cluster* seperti dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini [6].



Gambar 2.1 *Cluster* yang Terdiri dari Tujuh Sel

### 2.2.1 Pembagian Sel

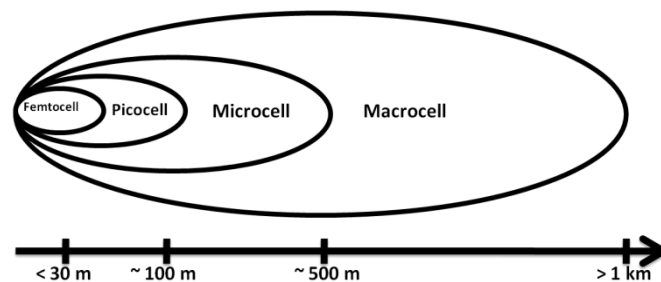
Pembagian sel dalam sistem seluler dimodelkan dengan bentuk heksagonal seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut [6].



Gambar 2.2 Bentuk-Bentuk Sel: (a) Model Analisis; (b) Ideal dan (c) Nyata

Cakupan suatu sel dalam pemodelan digambarkan dengan bentuk heksagonal, cakupan sel ideal digambarkan dengan lingkaran, sedangkan pada kenyataannya cakupan sel memiliki bentuk yang tidak beraturan seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2 di atas.

Berdasarkan besar jari-jarinya, sel dibedakan menjadi empat jenis seperti dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini [2].



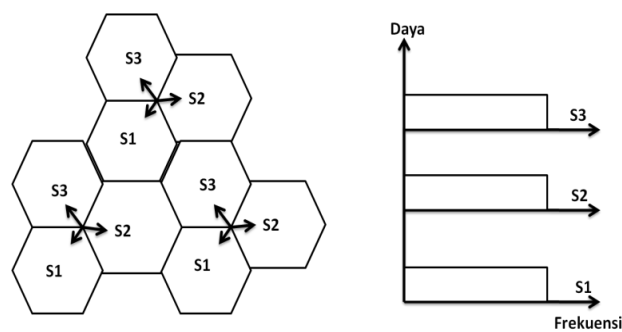
Gambar 2.3 Pembagian Sel berdasarkan Cakupan Wilayahnya

*Macrocell* memiliki cakupan wilayah lebih dari 1 km seperti dapat dilihat pada Gambar 2.3 di atas. Jenis sel ini biasa diterapkan pada daerah urban yang padat penduduk dan memiliki gedung-gedung tinggi sehingga dapat menopang konsumsi sel-sel kecil (*cell splitting*). *Microcell* memiliki cakupan wilayah sekitar 500 m, *picocell* dengan cakupan sekitar 100 m, dan *femtocell* yang memiliki cakupan wilayah berkisar antara 10 – 30 m.

### 2.2.2 Pengulangan Frekuensi (*Frequency Reuse*)

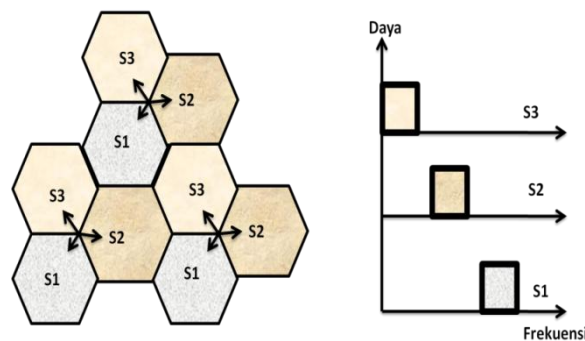
*Frequency Reuse* adalah penggunaan ulang suatu frekuensi di mana frekuensi ini sebelumnya telah digunakan pada sel lainnya. Sistem ini digunakan karena frekuensi merupakan salah satu sumber daya yang terbatas sehingga tidak banyak frekuensi yang dapat digunakan oleh suatu operator. Alasan lain adalah jumlah pelanggan yang semakin banyak dan tersebar, maka digunakanlah sistem ini untuk mengatasi hal-hal tersebut. Namun, pada beberapa sistem, penggunaan *frequency reuse* dapat menimbulkan interferensi yang cukup besar terlebih jika digunakan pada sel-sel yang berdekatan. Untuk mengatasi masalah *overlapping* atau interferensi, maka frekuensi yang sama hanya digunakan oleh sel lain yang jaraknya berjauhan. *Frequency reuse* memiliki beberapa skema yang dibedakan berdasarkan nilai faktornya, antara lain *Conventional Frequency Reuse* (CFR) [7].

*Conventional Frequency reuse* (CFR) merupakan skema *frequency reuse* yang paling sederhana dengan *frequency reuse factor* satu ( $RF=1$ ), yang artinya total *bandwidth* yang tersedia digunakan kembali dalam setiap sel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut [7].



Gambar 2.4 *Conventional Frequency Reuse* dengan Faktor 1

Skema *frequency reuse* dengan faktor 1 memiliki frekuensi yang sama pada sel-sel yang bersebelahan, sehingga total *bandwidth* yang tersedia akan digunakan kembali di setiap sel seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.4 di atas. Skema ini hanya bisa diterapkan di sistem tertentu saja, misalnya pada sistem LTE-Advanced yang telah berbasis OFDMA, sedangkan jika pada sistem lain seperti TDMA (*Time Division Multiple Access*) skema dengan faktor *reuse* 1 tentu akan menimbulkan gangguan interferensi yang besar. Selain faktor 1, terdapat juga *frequency reuse* dengan faktor 3 seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut [7].



Gambar 2.5 *Conventional Frequency Reuse* dengan Faktor 3

Total *bandwidth* yang tersedia pada *frequency reuse* dengan faktor 3 akan dibagi menjadi tiga *sub-band* yang berarti pengulangan frekuensi akan terjadi setiap tiga sel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Skema ini digunakan untuk mengurangi interferensi antar sel, namun akan terjadi kerugian kapasitas pada skema ini karena setiap sel hanya dapat menggunakan sepertiga dari total *bandwidth* yang tersedia.

### 2.3 Interferensi dan Kapasitas Sistem [6]

Interferensi merupakan faktor utama yang membatasi kinerja sistem seluler. Hal-hal yang dapat menyebabkan interferensi di antaranya: *mobile station* lain yang

berada di sel yang sama, *Base Transceiver Station* (BTS) satu dengan lainnya yang bekerja di frekuensi yang sama, atau sistem non-seluler yang secara tidak sengaja memberikan gangguan pada pita frekuensi seluler. Secara umum, terdapat dua jenis interferensi utama pada sistem seluler, yaitu interferensi *co-channel* dan interferensi dari *channel* yang berdekatan. Interferensi *co-channel* disebabkan oleh pengulangan frekuensi (*frequency reuse*) yang menyiratkan bahwa dalam area jangkauan tertentu, terdapat beberapa sel yang menggunakan frekuensi yang sama. Sel-sel ini disebut dengan sel *co-channel*, dan interferensi yang disebabkan oleh sel ini disebut interferensi *co-channel*. Interferensi dari *channel* yang berdekatan terjadi karena adanya gangguan dari sinyal yang menduduki frekuensi berdekatan dengan frekuensi sinyal yang diinginkan.

Interferensi dapat dikurangi salah satunya dengan menggunakan metode *power control*. Metode *power control* bekerja dengan menambahkan dan mengurangi daya pancar perangkat sehingga mampu memperbaiki nilai SINR mendekati nilai SINR target.

#### **2.4 Peningkatan Kapasitas pada Sistem Seluler [6]**

Semakin meningkatnya permintaan layanan *nirkabel*, maka harus diiringi oleh peningkatan kapasitas oleh operator untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Terdapat beberapa teknik yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas, seperti: *cell splitting* (pemecahan sel), *sectoring*, dan pendekatan zona cakupan.

### **2.4.1 Cell Splitting**

*Cell splitting* adalah proses pembagian sel padat ke dalam sel yang lebih kecil, di mana masing-masing sel tersebut memiliki BTS sendiri dengan kekuatan pemancar dan jangkauan yang kecil dibanding dengan sel padat.

### **2.4.2 Sectoring**

Penggunaan antena *directional* mampu meningkatkan kapasitas pengguna pada sektor tertentu, mengontrol gangguan, dan memungkinkan penggunaan ulang frekuensi.

### **2.4.3 Konsep Zona Mikro**

Konsep zona mikro memperpanjang batas sel sehingga daya pancar BTS mampu mencapai tempat yang sebelumnya tidak terlayani maksimal.

## **2.5 Femtocell**

### **2.5.1 Konsep Dasar Femtocell**

*Femtocell* merupakan sel dengan cakupan yang sangat kecil dengan teknologi *mini Base Transceiver Station* (BTS) yang biasa disebut *Femtocell Access Point* (FAP). FAP atau juga dikenal sebagai “*home base station*” adalah *access point* jaringan seluler yang dapat menghubungkan perangkat *mobile* pelanggan ke jaringan operator *mobile* atau BTS menggunakan DSL (*Digital Subscriber Line*), koneksi kabel *broadBand*, fiber optik maupun secara *wireless* [2]. *Base station* pada *femtocell* disebut FAP seperti dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini.

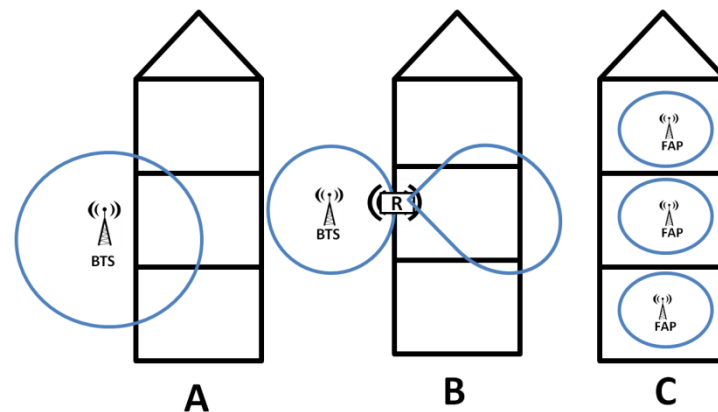


Gambar 2.6 *Femtocell Access Point (FAP)*

FAP seperti dapat dilihat pada Gambar 2.6 di atas memiliki fungsi yang sama seperti BTS. FAP disebut juga *Home Node B (HNB)* jika pada jaringan *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)* dan disebut *Home enhanced Node B (HeNB)* jika pada jaringan *Long Term Evolution (LTE)-Advanced*. FAP, HNB atau HeNB merupakan teknologi BTS dengan ukuran kecil yang dipasang di dalam ruangan dengan menggunakan frekuensi sistem seluler resmi seperti 900 MHz, 1800 MHz, dan 2300 MHz yang digunakan pada daerah yang memiliki sinyal rendah sehingga dapat meningkatkan kapasitas, mobilitas dan konektivitas.

*Femtocell* merupakan salah satu solusi alternatif bagi operator seluler dalam memperluas cakupan jaringan aksesnya pada perumahan-perumahan atau gedung perkantoran yang seringkali tidak terjangkau oleh jaringan BTS konvensional atau pada area dengan tingkat trafik yang sangat tinggi. Selain itu, bagi operator seluler, kehadiran *femtocell* juga dapat menurunkan biaya pembangunan infrastruktur dan memberikan kualitas layanan yang baik kepada pengguna di area-area tersebut. FAP, HNB, atau HeNB memiliki cakupan jaringan kurang dari 30 meter dengan daya pancar yang dibutuhkan adalah 10 hingga 100 mW (*miliwatt*) dan dapat melayani tiga sampai lima pengguna [2]. Pemasangan FAP, HNB, atau HeNB

dilakukan secara *auto configuration* sehingga perangkat ini akan menjadi tanggung jawab pelanggan. *Femtocell* sangat cocok dipasang di dalam ruangan yang mendapatkan sinyal rendah karena dapat memperbaiki kualitas layanan seperti dapat dilihat pada Gambar 2.7 di bawah ini [2].



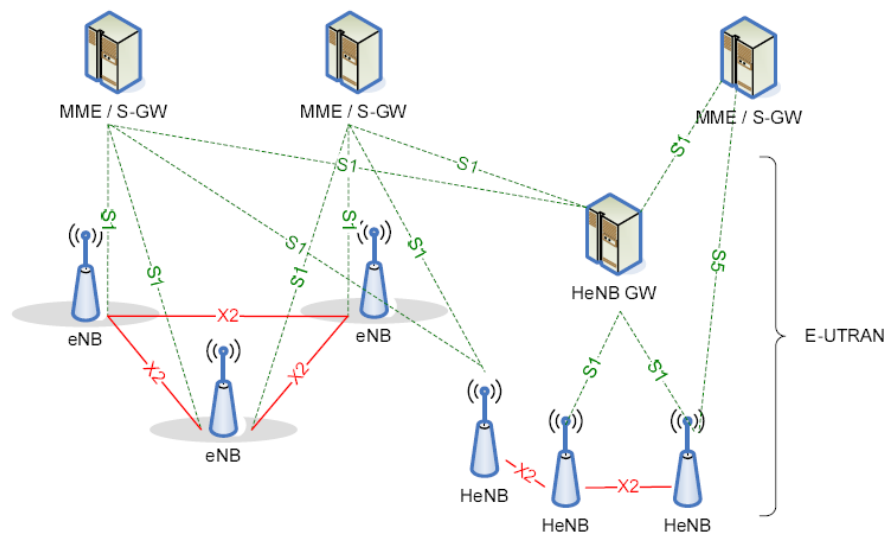
Gambar 2.7 Perbandingan Cakupan Area: (A) *Macrocell*, (B) *Repeater*, dan (C) *Femtocell* pada Gedung Bertingkat

Pemasangan FAP pada gedung bertingkat dapat memperbaiki kualitas layanan lebih baik dan merata jika dibandingkan dengan *repeater* seperti dapat dilihat pada Gambar 2.7, di mana Gambar A menunjukkan cakupan jaringan dari *macrocell*, Gambar B merupakan sinyal yang dikuatkan oleh *repeater*, dan Gambar C adalah cakupan jaringan dari *femtocell*.

### 2.5.2 Arsitektur *Femtocell*

*Femtocell* memiliki jaringan dasar sama seperti pada jaringan seluler, karena dalam skripsi ini penulis akan menganalisis *femtocell* berbasis *LTE-Advanced*, berikut merupakan arsitektur *femtocell* berbasis *LTE-Advanced* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 [8].





Gambar 2.8 Arsitektur *Femtocell* berbasis LTE-Advanced [8]

Arsitektur *femtocell* berbasis LTE-Advanced berdasarkan 3GPP Release 8 terdiri dari beberapa bagian seperti dapat dilihat pada Gambar 2.8 di atas. LTE-Advanced memiliki dua jaringan inti, yaitu *Evolved Packet Core* (EPC) dan *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (EUTRAN) yang masing-masing terdiri dari perangkat dan fungsi sebagai berikut:

1. EPC terdiri dari tiga bagian, yaitu *Mobility Management Entity* (MME), *Serving Gateway* (S-GW), dan *Home Evolved Node B Gateway* (HeNB GW). MME adalah *node* kontrol utama pada jaringan LTE-Advanced yang bertanggung jawab pada prosedur *paging* untuk *idle mode*, mengatur *handover*, menangani lalu lintas pensinyalan, dan bertanggung jawab pada proses aktivasi maupun deaktivasi dengan bantuan *Home Subscriber Server* (HSS). Selain itu, MME juga bertanggung jawab untuk merutekan paket data pengguna dan menghubungkan LTE dengan teknologi lain.

S-GW dan HeNB GW memiliki fungsi yang sama, hanya saja HeNB dikhususkan untuk mengatur HeNB. S-GW dan HeNB GW bertugas untuk merutekan dan meneruskan paket data *user*, sebagai *mobility anchor* antar *Evolved Node B* (eNB) maupun HeNB, dan untuk menghubungkan jaringan LTE dengan jaringan lain yang sudah ada. S-GW terdiri dari dua bagian, yaitu *System Architecture Evolution (SAE) Anchor* dan *3rd Generation Partnership Project (3GPP) Anchor*. *SAE Anchor* berfungsi sebagai *gateway* jaringan non-3GPP, sedangkan *3GPP Anchor* berfungsi sebagai *gateway* jaringan 3GPP.

2. EUTRAN terdiri dari dua bagian, yaitu eNB untuk cakupan *macrocell* dan HeNB untuk cakupan *femtocell*. eNB dan HeNB berfungsi sebagai *transceiver* yang bertugas mengirim maupun menerima data dari dan ke perangkat *mobile*. Selain itu bertugas juga sebagai *Radio Resource Management (RRM)* yang bertanggung jawab dalam mengontrol dan mengawasi pengiriman sinyal, mengatur penjadwalan, dan menguji kelayakan data yang melewati eNB dan HeNB.

HeNB dan eNB terhubung dengan MME dan S-GW melalui antarmuka S1 yang membawa trafik *control plane* maupun *user plane* antara HeNB/eNB dan MME/S-GW. S5 merupakan antarmuka HeNB yang beroperasi dalam mode LIPA (*Local Internet Protocol Access*), sedangkan antar eNB satu dengan eNB lainnya terhubung melalui antarmuka X2 yang juga berfungsi dalam mengatur proses *handover* antar eNB. Semua antarmuka pada jaringan LTE-Advanced berbasis *Internet Protocol (IP)* [8].

### 2.5.3 Mode Akses *Femtocell* [2]

*Femtocell* dapat diakses oleh pengguna melalui 3 mode, yaitu:

#### 1. *Open Access Mode*

Mode ini memungkinkan semua pengguna mengakses dan mendapatkan layanan *femtocell*.

#### 2. *Closed Access Mode*

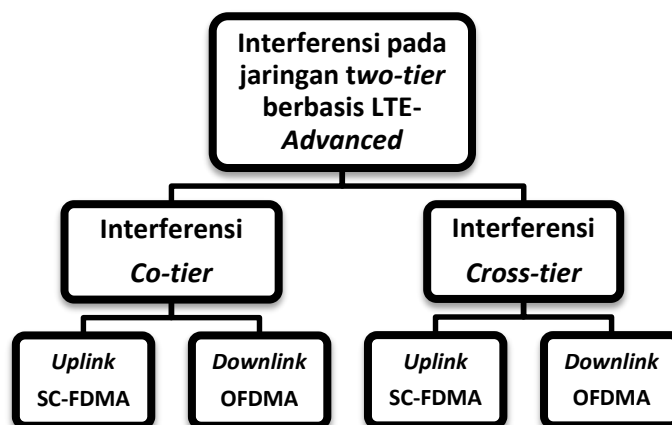
Pada mode ini, hanya pengguna yang telah disetujui oleh pemilik FAP saja yang bisa mengakses dan mendapatkan layanan *femtocell*.

#### 3. *Hybrid Access Mode*

Mode ini memungkinkan akses pengguna secara *open* dan *closed*. Sebagian dari sumber daya *femtocell* dicadangkan untuk pengguna *closed access mode* dan sumber daya yang tersisa dialokasikan secara terbuka (*open access mode*).

## 2.6 Interferensi pada Jaringan Seluler *Two-tier*

Jaringan seluler *two-tier* merupakan jaringan seluler yang terdiri dari dua tingkatan. Dalam hal ini adalah jaringan seluler *macrocell* dan *femtocell*, di mana tingkatan pertama adalah jaringan *macrocell* dan tingkatan kedua adalah jaringan *femtocell*. Penggunaan *Femtocell Access Point* (FAP) pada cakupan jaringan *macrocell* tentu akan menimbulkan interferensi. Terlebih jika *femtocell* dan *macrocell* bekerja pada frekuensi yang sama. Interferensi yang terjadi pada jaringan seluler *two-tier* terbagi menjadi dua jenis, yaitu interferensi *co-tier* dan *cross-tier* seperti dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut ini [9].

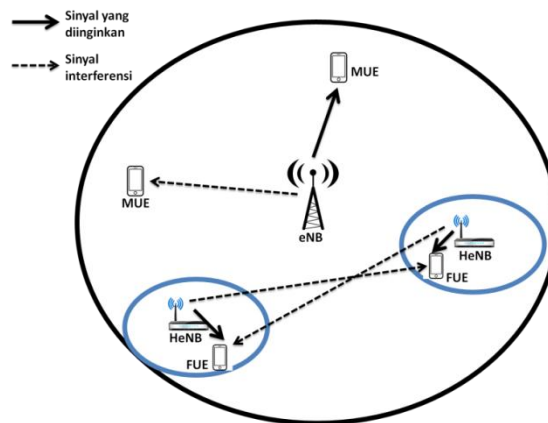


Gambar 2.9 Jenis Interferensi yang Terjadi pada Jaringan Seluler *Two-Tier*

Interferensi *co-tier* dan *cross-tier* dapat terjadi baik pada transmisi *downlink* maupun *uplink*, di mana pada teknologi LTE-Advanced pada transmisi *uplink* menggunakan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) dan pada transmisi *downlink* menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) seperti dapat dilihat pada Gambar 2.9 di atas.

### 2.6.1 Interferensi *Co-Tier*

Interferensi *co-tier* adalah interferensi yang disebabkan oleh elemen jaringan pada *tier* atau tingkatan yang sama, misal antar pengguna *macrocell* satu dengan pengguna *macrocell* lainnya, ataupun antar sesama pengguna *femtocell* berbeda seperti ditunjukkan Gambar 2.10 berikut.

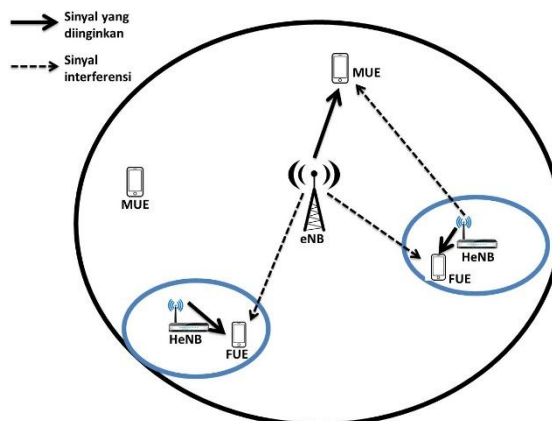


Gambar 2.10 Interferensi *Co-Tier* pada Jaringan *Two-Tier*

Interferensi *co-tier* terjadi antara *Home Evolved Node B* (HeNB) dengan *Femtocell User Equipment* (FUE), ataupun antara *Evolved Node B* (eNB) dengan *Macrocell User Equipment* (MUE) seperti dapat dilihat pada Gambar 2.10 di atas.

### 2.6.2 Interferensi *Cross-Tier*

Interferensi *cross-tier* merupakan interferensi yang disebabkan oleh elemen jaringan pada *tier* yang berbeda, seperti antara BTS pada *macrocell* dengan pengguna *femtocell*, ataupun BTS pada *femtocell* dengan pengguna *macrocell* seperti dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11 Interferensi *Cross-Tier* pada Jaringan *Two-Tier*

Tidak seperti pada interferensi *co-tier* yang terjadi di *tier* yang sama, interferensi *cross-tier* terjadi pada *tier* yang berbeda. Sebagai contoh, *Evolved Node B* (eNB) menginterferensi *Femtocell User Equipment* (FUE), ataupun *Home Evolved Node B* (HeNB) yang menginterferensi *Macrocell User Equipment* (MUE) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11 di atas.

## 2.7 LTE-Advanced

Dalam memenuhi persyaratan dari *International Mobile Telecommunication* (IMT) *Advanced* tentang 4G, maka *LTE-Advanced* mempunyai beberapa persyaratan antara lain sebagai berikut [10].

1. *Bandwidth* yang terskala

E-UTRA dapat beroperasi pada alokasi *bandwidth* yang berbeda-beda, yaitu 1.25 MHz, 2.5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, dan 20 MHz baik pada *uplink* maupun *downlink*.

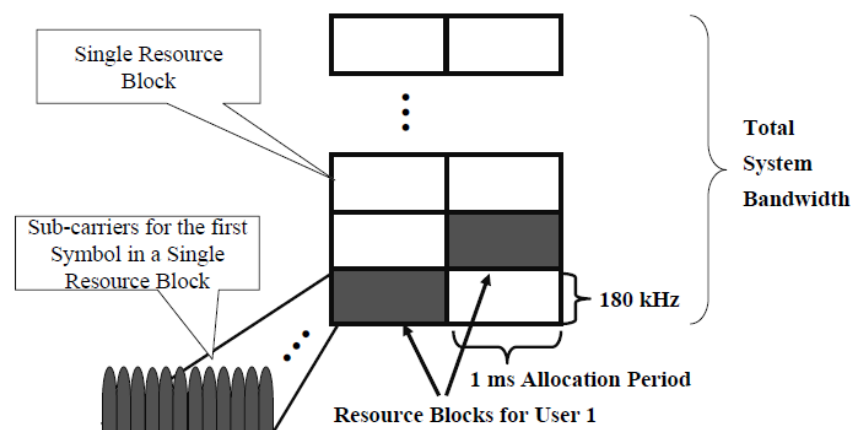
2. Kecepatan transfer data mampu mencapai 100 Mbps untuk *downlink*, dan 50 Mbps untuk *uplink* dengan alokasi spektrum *bandwidth* 20 MHz.
3. Mencapai 200 pengguna aktif dalam 1 sel (5 MHz).
4. *User-plane latency* kurang dari 5 ms.
5. Pilihan spektrum frekuensi yang dapat disesuaikan dengan jaringan saat ini yaitu *band* GSM, CDMA (*Code Division Multiple Access*), UMTS (450,700, 850, 900, 1700, 1800, 1900, 2100, 2500MHz).
6. Mendukung baik untuk operasi FDD (*Frequency Division Duplex*) maupun TDD (*Time Division Duplex*).

7. Antena MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) sudah terstandarisasi sehingga secara umum dapat meningkatkan data sektoral.

Salah satu perubahan pada *LTE-Advanced* dibanding teknologi sebelumnya adalah pada lapisan fisiknya, khususnya dalam teknik modulasi dan skema akses jamak. *LTE-Advanced* menerapkan teknik *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) untuk transmisi *downlink* sedangkan untuk transmisi *uplink* menggunakan *Single-Carrier Frequency- Division Multiple Access* (SC-FDMA).

### 2.5.1 OFDMA

OFDMA adalah teknik komunikasi *wireless* yang menggabungkan teknik OFDM dan teknik multiakses untuk menyediakan layanan ke banyak pengguna. OFDMA merupakan kombinasi antara OFDM dan FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) yang melayani beberapa pengguna dengan mengalokasikan *subcarrier*. Perbedaan antara OFDM dengan OFDMA adalah OFDM bukanlah sebuah teknik akses jamak melainkan suatu teknik modulasi yang menciptakan banyak aliran data supaya dapat digunakan oleh pengguna yang berbeda, sedangkan OFDMA merupakan skema akses jamak yang memungkinkan banyak pengguna berbagi dalam *bandwidth* yang sama. OFDM mengalokasikan pengguna hanya pada ranah waktu sedangkan OFDMA mengalokasikan pengguna pada ranah waktu dan frekuensi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut [11].



Gambar 2.12 Alokasi Sumber OFDMA pada LTE-Advanced [11]

Alokasi sumber daya OFDMA ditunjukkan oleh Gambar 2.12 di atas, di mana sumbu horizontal menyatakan waktu dan sumbu vertikal menyatakan frekuensi. Pada periode waktu tertentu kanal dapat melayani beberapa pengguna, sebab pengguna dialokasikan ke dalam beberapa slot dan data yang dikirim dibagi ke dalam banyak *subcarrier* secara terdistribusi acak.

### 2.5.2 SC-FDMA

*Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) adalah suatu teknik *multiple access* baru yang digunakan untuk *uplink* pada LTE. SC-FDMA merupakan versi pengguna jamak dari modulasi *Single Carrier dengan Frequency Domain Equalization* (SC/FDE). Teknik ini dapat pula dikatakan sebagai pengembangan dari OFDMA yang telah ada sebelumnya. SC-FDMA mempunyai struktur dan performa yang mirip dengan OFDM, hanya saja pada teknik ini terdapat penambahan proses DFT (*Discrete Fourier Transform*) pada *transmitter*. Berbeda dengan OFDM, pada SC-FDMA ini setiap simbol data disebar di beberapa *subcarrier*, sehingga disebut juga *DFT-spread OFDM*. SC-FDMA dipilih karena



teknik ini mengkombinasikan keunggulan PAPR (*Peak to Average Power Ratio*) yang rendah dengan daya tahan terhadap gangguan lintasan jamak dan alokasi frekuensi yang fleksibel dari OFDMA [11].

## 2.8 Metode Power Control

Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi interferensi pada *femtocell* dan *macrocell* adalah dengan digunakannya teknik *power control* sebagai manajemen interferensi pada *downlink femtocell* dan *macrocell*. *Power control* pada transmisi *downlink* merupakan salah satu metode manajemen interferensi yang digunakan untuk mengatur daya pancar pada BTS sehingga daya yang diterima oleh *user* target nilainya memenuhi kebutuhan dan dinyatakan oleh parameter *Quality of Services* (QoS) untuk trafik tertentu [12].

Nilai SINR dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1) berikut:

$$SINR = \frac{P_{RXUE1}}{I_{co-tier} + I_{cross-tier} + noise} \quad (2.1)$$

di mana:

*SINR* : *Signal to Interferences plus Noise Ratio*,

$P_{RXUE1}$  : Daya yang dipancarkan oleh BTS ke *User Equipment* 1 (UE yang dituju)  
(satuan daya),

$I_{co-tier}$  : Interferensi *co-tier* total yang terjadi (satuan daya),

$I_{cross-tier}$  : Interferensi *cross-tier* total yang terjadi (satuan daya).

Total interferensi *co-tier* dan *cross-tier* dihitung melalui Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3) berikut.

$$I_{co-tier} = \sum_{i=1}^m I_i \quad (2.2)$$

$$I_{cross-tier} = \sum_{i=1}^j I_i \quad (2.3)$$

di mana  $m$  adalah jumlah interferensi yang terjadi pada *co-tier* dan  $j$  adalah jumlah interferensi yang terjadi pada *cross-tier*.

Daya yang diterima oleh *user* dihitung melalui Persamaan (2.4):

$$P_{Rx} = P_{Tx} \cdot Kr^{-\eta} \cdot Fd \cdot Sd \quad (2.4)$$

di mana:

$P_{Rx}$  = Daya yang diterima oleh *user* yang diamati (satuan daya),

$P_{Tx}$  = Daya yang dipancarkan oleh BTS yang diamati (satuan daya),

$Kr^{-\eta}$  = *Pathloss* yang disebabkan karena redaman jarak, dengan parameter  $K$  adalah sebuah konstanta,  $r$  adalah jarak, dan  $\eta$  bernilai  $\eta > 2$  (nilai  $\eta$  didapat berdasarkan karakteristik wilayah. Wilayah urban memiliki nilai  $\eta$  antara 3 sampai 4) [12],

$Fd$  = *Fading*, yaitu redaman yang disebabkan oleh lintasan jamak beda fasa,

$Sd$  = *Shadowing*, yaitu redaman yang disebabkan karena adanya penghalang, misalnya seperti dinding.

## 2.9 Signal to Interferences plus Noise Ratio (SINR)

SINR pada transmisi *downlink* merupakan rasio perbandingan antara sinyal yang diterima oleh *user* terhadap jumlah interferensi dan *noise* yang terjadi. Interferensi dan *noise* menyebabkan nilai SINR target tidak tercapai, bisa terlalu besar ataupun terlalu kecil. Nilai SINR untuk beberapa tipe trafik ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Nilai SINR untuk Beberapa Tipe Trafik [13]

No	Tipe Trafik	SINR (dB)
1	VoIP	0
2	Audio	0
3	Video	24
4	HTTP	1
5	FTP	11

Nilai SINR ideal untuk *Voice over Internet Protocol* (VoIP) dan audio adalah 0 dB, untuk video adalah 24 dB, sedangkan untuk *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) sebesar 1 dB, dan untuk *File Transfer Protocol* (FTP) adalah 11 dB, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 di atas. Umumnya, nilai SINR dari sistem komunikasi bergantung pada beberapa faktor, salah satunya adalah teknik modulasi yang digunakan. Nilai SINR pada tabel tersebut mengasumsikan penggunaan teknik modulasi *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase-Shift Keying* (QPSK), 16 *Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM), dan 64 *Quadrature Amplitude Modulation* (64-QAM) [13].

### 2.10 Model Path Loss

Model *path loss* untuk daerah urban dan sub-urban dengan *user* berada pada daerah *indoor* didapatkan melalui Persamaan (2.5) dan (2.6) berikut.

*Path loss* untuk *macrocell* [14]:

$$PL(dB) = 15,3 + 37,6 \log_{10}(\text{jarak}) + L_{ow} \quad (2.5)$$

*Path loss* untuk *femtocell* [15]:

$$PL(dB) = 127 + 30 \log_{10} \left( \frac{\text{jarak}}{1000} \right) \quad (2.6)$$

di mana *jarak* dalam satuan meter dan  $L_{ow}$  adalah rugi-rugi penetrasi akibat redaman dinding (bernilai 10 atau 20 dB).

## 2.11 Noise

*Noise* adalah sinyal yang tidak diharapkan yang muncul ketika proses transmisi antara BTS dan *user* terjadi. Terdapat beberapa kategori *noise*, antara lain: *thermal noise*, *Inter Modulation (IM) noise*, *crosstalk*, dan *impulse noise* [16].

*Thermal noise* terjadi di semua media transmisi dan semua peralatan komunikasi. *Thermal noise* memiliki nilai yang berbanding lurus dengan *Bandwidth (Bw)* dan temperatur (*T*), artinya semakin besar *bandwidth* dan temperatur maka nilai *thermal noise* akan semakin meningkat. Daya *noise* dapat diketahui besarnya dengan menggunakan Persamaan (2.7) berikut [16].

$$N_o = kT \text{ (Watt/Hz)} \quad (2.7)$$

dengan:

$N_o$  = daya *noise thermal*,

$k$  = konstanta Boltzmann ( $1,3803 \times 10^{23}$  J/K),

$T$  = temperatur absolut (K),

Pada suhu ruang,  $T = 290$  K, sehingga:

$$N_o = 1,3803 \times 10^{23} \times 290 = -204 \text{ dBW/Hz} = -174 \text{ dBm/Hz}$$

Daya *noise (N)* pada temperatur (*T*) dan *bandwidth (Bw)* dinyatakan melalui Persamaan (2.8) berikut [16].

$$\begin{aligned} N &= k.T.Bw = N_o.Bw \\ &= -174 \text{ dBm/Hz} \times Bw \end{aligned} \quad (2.8)$$

### 2.12 *Throughput*

*Throughput* adalah besarnya jumlah data yang diterima per satuan waktu. Perhitungan *throughput* ( $C$ ) dilakukan dengan pendekatan formulasi Shannon seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.9) berikut [17].

$$C = Bw \log_2(1 + SINR) \quad (2.9)$$

dengan  $Bw$  adalah *bandwidth* sistem yang digunakan, dan  $C$  dalam satuan *bit per second* (bps).

### 2.13 *Bit Error Rate (BER)*

BER atau kualitas dari link digital adalah jumlah kesalahan bit dibagi dengan jumlah total bit yang dikirim selama interval waktu tertentu, yang ditunjukkan pada Persamaan (2.10) berikut. Semakin kecil nilai BER maka kualitas data yang diterima akan semakin baik.

$$BER = \frac{\text{Jumlah kesalahan bit}}{\text{Jumlah bit yang dikirim}} \quad (2.10)$$

Nilai BER dipengaruhi oleh tipe modulasi yang digunakan. Secara matematis, nilai BER untuk modulasi 16 *Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM) ditunjukkan pada Persamaan (2.11) berikut [17].

$$BER = \frac{4(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} Q \left( \sqrt{\frac{3 E_b/N_o \cdot \log_2 M}{(M-1)}} \right) \quad (2.11)$$

dengan  $M=16$  (16-QAM), Persamaan (2.11) disederhanakan menjadi Persamaan (2.12) berikut.

$$BER = \frac{3}{4} Q \left( \sqrt{\frac{4}{5} E_b/N_o} \right) \quad (2.12)$$

di mana  $L$  adalah jumlah bit dalam satu simbol modulasi yang digunakan. Pada kasus 16-QAM,  $L$  bernilai 4 ( $L = \log_2(M)$ ).

#### **2.14 Cumulative Distribution Function (CDF) dan Complementary CDF (CCDF)**

CDF adalah probabilitas bahwa nilai variabel acak  $X$  akan mengambil nilai kurang dari atau sama dengan suatu nilai konstanta  $x$ , atau secara matematis didefinisikan dalam Persamaan (2.14) berikut.

$$F_X(x) = P(X \leq x) \quad (2.14)$$

CCDF merupakan komplemen dari CDF, yaitu probabilitas bahwa nilai  $X$  akan mengambil nilai yang lebih besar dari suatu konstanta nilai  $x$ . CCDF secara matematis didefinisikan melalui Persamaan (2.15) berikut.

$$F'_X(x) = P(X > x) \quad (2.15)$$

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

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

Pengerjaan skripsi dilaksanakan pada waktu dan tempat sebagai berikut:

Waktu : April 2016 – Januari 2017,

Tempat : Laboratorium Teknik Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

### **3.2 Alat dan Bahan**

Adapun peralatan dan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Satu buah *personal computer*,
2. *Software* MATLAB.

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penyelesaian skripsi ini adalah pemodelan dan simulasi dengan tahapan-tahapan yang dilakukan sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Pada studi literatur dilakukan pencarian informasi terkait topik skripsi, baik dari buku, jurnal, bahan dari internet maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan skripsi ini, yaitu:

- a. Konsep Seluler,
- b. Konsep Dasar *Femtocell*,
- c. Interferensi pada Jaringan Seluler *Two-Tier*,
- d. Penerapan Teknologi OFDMA pada Jaringan *Femtocell*,
- e. SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*), *Throughput*, dan BER,
- f. Metode *Power Control*,
- g. Pengertian *Cumulative Distribution Function* (CDF) dan *Complementary CDF* (CCDF).

#### 2. Pemodelan Sistem

Skenario pemodelan yang dilakukan terdapat tiga kasus berbeda, di mana diasumsikan terdapat jaringan homogen yang terdiri dari *femtocell* dan *macrocell*. *Femtocell* berada pada daerah cakupan *macrocell* yang bersebelahan dengan *macrocell* lainnya. Jumlah *macrocell* yang dipertimbangkan adalah tiga buah *macrocell*, di mana pada masing-masing *macrocell* terdapat sepuluh buah *femtocell access point* (dalam 4G LTE disebut Home eNB). Kasus yang mungkin terjadi pada skenario pemodelan yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut.



Tabel 3.1 Kasus yang mungkin Terjadi pada Model Skenario Simulasi

NO	<i>Macrocell</i>			<i>Femtocell</i>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>1.</b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>
2.	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
3.	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
<b>4.</b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Uplink</i></b>	<b><i>Uplink</i></b>
5.	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>
6.	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
7.	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
8.	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>
9.	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>
10.	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
11.	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
12.	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>
<b>13.</b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Uplink</i></b>	<b><i>Uplink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>	<b><i>Downlink</i></b>
14.	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
15.	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
16.	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>
17.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>
18.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
19.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
20.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>
21.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>
22.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
23.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
24.	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>
25.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>
26.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
27.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
28.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>
29.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>
30.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
31.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>
32.	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>

Dari 32 kasus tersebut hanya 3 skenario pemodelan yang dianalisis pada skripsi ini, yaitu model skenario yang dicetak dengan huruf tebal, dan diringkas pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Model Skenario yang Dianalisis

NO	<i>Macrocell</i>			<i>Femtocell</i>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	<b><i>Downlink</i></b>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<b><i>Downlink</i></b>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>
2	<b><i>Downlink</i></b>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>	<b><i>Downlink</i></b>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>
3	<b><i>Downlink</i></b>	<i>Uplink</i>	<i>Uplink</i>	<b><i>Downlink</i></b>	<i>Downlink</i>	<i>Downlink</i>

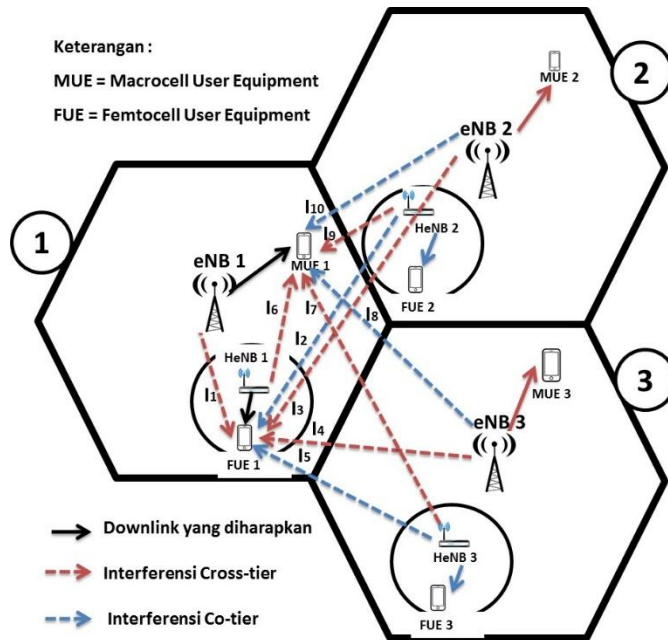
Skenario pemodelan yang dianalisis yaitu:

1. Semua *macrocell* dan *femtocell downlink*,
2. Semua *macrocell downlink*, *femtocell 1 downlink*, *femtocell 2* dan *3 uplink*,
3. *Macrocell 1 downlink*, *macrocell 2* dan *3 uplink*, semua *femtocell downlink*.

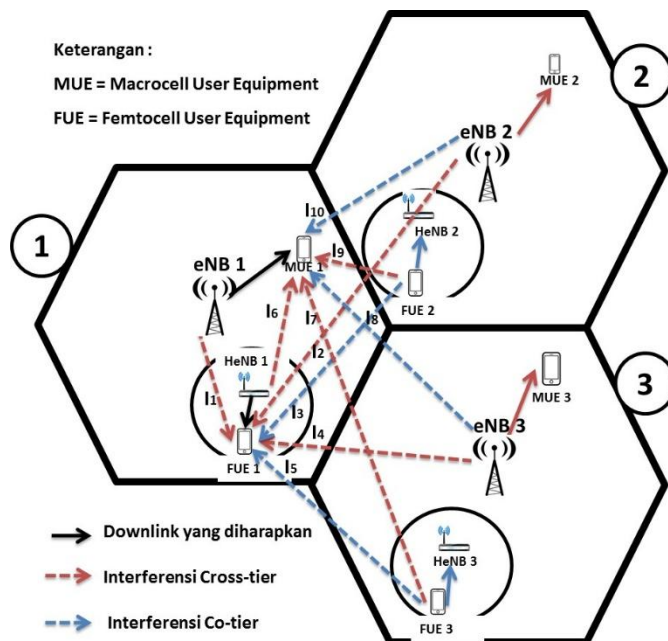
Model skenario seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2 di atas dipilih untuk mengetahui seberapa besar pengaruh eNB, HeNB, *Macrocell User Equipment* (MUE), dan *Femtocell User Equipment* (FUE) penginterferensi terhadap *user* yang diamati. Pada skenario 1, *user* yang diamati mendapat interferensi dari semua perangkat eNB dan HeNB sel 2 dan sel 3 yang sedang pada transmisi *downlink*. Pada skenario 2, *user* yang diamati mendapat interferensi dari eNB sel 2 dan sel 3, juga FUE pada sel 2 dan sel 3. Skenario 3 merupakan kebalikan dari skenario 2, pada skenario ini, *user* yang diamati mendapat interferensi dari MUE sel 2 dan sel 3, serta HeNB pada sel 2 dan sel 3.

Adapun pemodelan kondisi sistem yang dianalisa ditunjukkan pada Gambar 3.1 hingga Gambar 3.3 berikut. Jumlah *user* yang digunakan pada gambar tersebut adalah masing-masing satu *user* untuk *macrocell* dan *femtocell*, dan jumlah HeNB yang digunakan pada gambar adalah masing-masing satu HeNB untuk setiap *macrocell*. Namun ketika simulasi, *user* yang digunakan adalah 30 *user* untuk

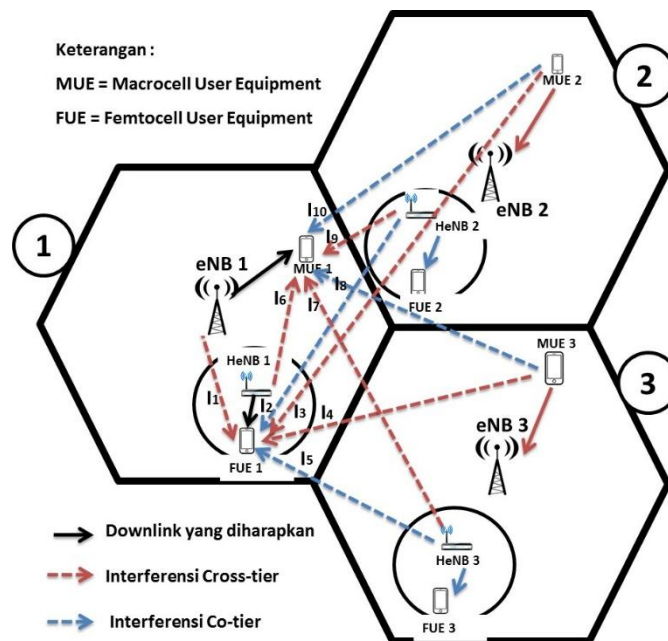
macrocell dan empat user untuk femtocell. Jumlah HeNB adalah sepuluh buah untuk masing-masing macrocell.



Gambar 3.1 Pemodelan Sistem ketika Semua *Macrocell* dan *Femtocell Downlink*



Gambar 3.2 Pemodelan Sistem ketika Semua *Macrocell Downlink*, *Femtocell 1 Downlink*, *Femtocell 2 dan 3 Uplink*



Gambar 3.3 Pemodelan Sistem ketika *Macrocell 1 Downlink, Macrocell 2 dan 3 Uplink, Semua Femtocell Downlink*

Pemodelan sistem seluler yang dianalisa terdiri dari tiga buah *macrocell* di mana pada masing-masing *macrocell* tersebut terdapat sepuluh buah *femtocell*. Salah satu skenario yang dianalisa adalah ketika semua jaringan ini sedang melakukan operasi *downlink* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1. Diasumsikan semua jaringan *macrocell* dan *femtocell* memiliki *frequency reuse factor* = 1, yang artinya sel-sel yang berdampingan bekerja di frekuensi yang sama sehingga mengakibatkan timbulnya interferensi, baik itu karena penggunaan frekuensi yang sama ataupun karena daya pancar penginterferensi dari BTS (eNB dan HeNB yang tidak diharapkan). Arah *downlink* yang diharapkan adalah arah transmisi *downlink* dengan garis panah hitam yang merupakan *downlink* dari HeNB 1 kepada pengguna layanan *femtocell* 1 (FUE 1), dan eNB 1 ke pengguna layanan *macrocell* 1 (MUE 1). Tanda panah dengan garis putus-putus merupakan interferensi baik *co-tier* maupun *cross-tier*.

Nilai SINR pada MUE 1 dan FUE 1 pada kondisi Gambar 3.1 didapatkan melalui Persamaan (2.1) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Daya total interferensi *cross-tier* ( $I_{Cr-downlink}$ ,  $I_{Cr-uplink}$ ) dan interferensi *co-tier* ( $I_{Co-downlink}$ ,  $I_{Co-uplink}$ ) untuk FUE 1 dan MUE 1 dihitung melalui Persamaan (3.1a) dan (3.1b) berikut.

$$\begin{aligned}
 I_{Cr-downlink}(FUE_1) &= I_1 + I_3 + I_4 \\
 I_{Cr-uplink}(FUE_1) &= 0 \\
 I_{Cr-total}(FUE_1) &= I_1 + I_3 + I_4 \\
 I_{Co-downlink}(FUE_1) &= I_2 + I_5 \\
 I_{Co-uplink}(FUE_1) &= 0 \\
 I_{Co-total}(FUE_1) &= I_2 + I_5
 \end{aligned} \tag{3.1a}$$

Maka:

$$SINR_{FUE_1} = \frac{P_{Rx}}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + N}$$

$$\begin{aligned}
 I_{Cr-downlink}(MUE_1) &= I_6 + I_7 + I_9 \\
 I_{Cr-uplink}(MUE_1) &= 0 \\
 I_{Cr-total}(MUE_1) &= I_6 + I_7 + I_9 \\
 I_{Co-downlink}(MUE_1) &= I_8 + I_{10} \\
 I_{Co-uplink}(MUE_1) &= 0 \\
 I_{Co-total}(MUE_1) &= I_8 + I_{10}
 \end{aligned} \tag{3.1b}$$

Maka:

$$SINR_{MUE_1} = \frac{P_{Rx}}{I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + N}$$

### 3.4 Parameter Simulasi

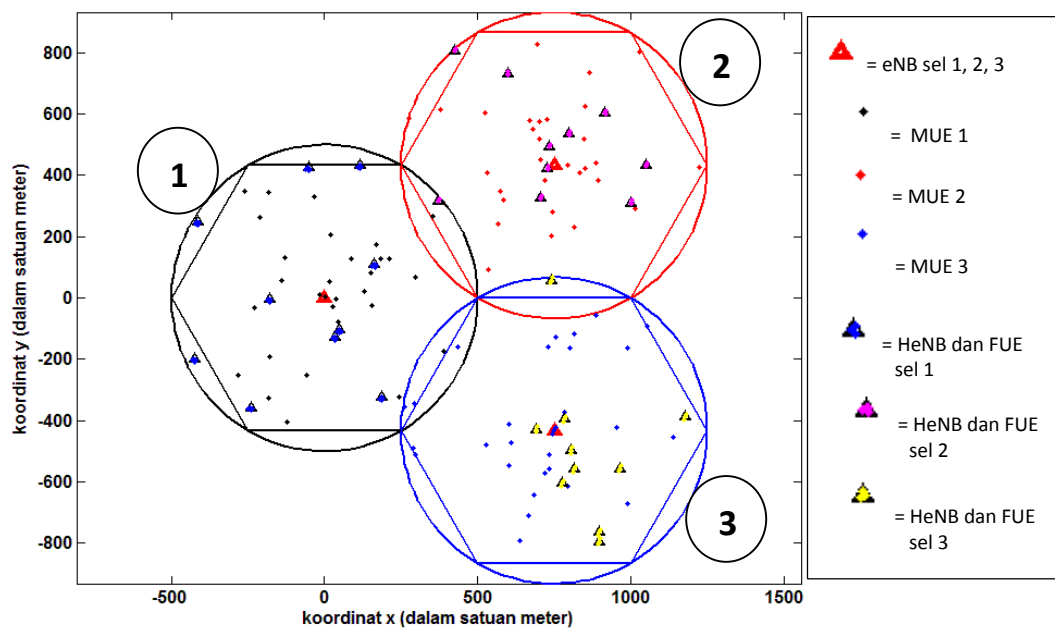
Parameter yang digunakan untuk mengukur dan membandingkan performansi pada layanan *femtocell* dan *macrocell* sebelum dan sesudah digunakannya metode *power control* ditunjukkan pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Parameter yang Digunakan pada Pemodelan Sistem

No	Parameter	Nilai
1	Daya pancar <i>eNode B</i> [14] - Daya pancar minimum - Daya pancar maksimum	10 dBm 46 dBm
2	Daya pancar <i>Home eNode B</i> [15] - Daya pancar minimum - Daya pancar maksimum	-10 dBm 20 dBm
3	Daya pancar <i>User Equipment</i> [19] - Daya pancar minimum - Daya pancar maksimum	-40 dBm 23 dBm
3	<i>Bandwidth</i>	20 MHz
4	Radius a. <i>Macrocell</i> b. <i>Femtocell</i>	500 m 10 m
5	<i>User</i> pada satu sel a. <i>User</i> pada <i>macrocell</i> b. <i>User</i> pada <i>femtocell</i>	30 <i>user</i> 4 <i>user</i>
6	Jumlah BTS a. Jumlah eNB b. Jumlah <i>Home Node B</i>	3 buah 30 buah
7	Rugi-rugi penetrasi area <i>indoor</i> ( $L_{ow}$ ) [14]	10 dB

### 3.5 Pembangunan Sistem

Model sistem yang dibangun pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Model Sistem

Sistem yang dibangun terdiri dari tiga buah *macrocell* dengan jumlah *user* (MUE) di setiap *macrocell* adalah 30 *user* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4. eNB pada *macrocell* ditunjukkan dengan gambar segitiga merah dengan radius 500 meter, sedangkan *user* pada *macrocell* 1, 2, dan 3 masing-masing ditunjukkan dengan titik berwarna hitam, merah, dan biru. Pada masing-masing *macrocell* disebarakan secara acak 10 buah HeNB dengan masing-masing memiliki radius 10 meter yang digambarkan dengan segitiga hitam, dengan setiap HeNB melayani 4 pengguna (FUE) yang digambarkan dengan titik berwarna biru, merah muda, dan kuning masing-masing untuk *macrocell* 1, 2, dan 3.

### 3.5.1 Pengaturan Letak eNB dan Distribusi *User Macrocell*

eNB diletakkan pada posisi tetap, dengan koordinat sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  masing-masing untuk eNB 1, eNB 2, dan eNB 3 adalah eNB 1 (0,0), eNB 2 (750,433), dan eNB 3 (750,-433). Koordinat ini ditentukan agar posisi masing-masing eNB terletak tepat di tengah sel seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4. Setelah itu, langkah selanjutnya adalah menyebarkan *user macrocell* (MUE) secara acak dengan jumlah 30 *user* untuk setiap *macrocell*. Penyebaran *user* dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3.2) dan (3.3) berikut.

$$\text{Koordinat } MUE_x = \text{radius} \times \cos(\theta) \quad (3.2)$$

$$\text{Koordinat } MUE_y = \text{radius} \times \sin(\theta) \quad (3.3)$$

dengan,

$$\text{radius} = \text{randi} (0 - 500) \text{ meter}$$

$$\theta = \text{randi} (0^\circ - 360^\circ)$$

*User macrocell* dibangkitkan secara acak dengan radius yang tidak lebih dari radius eNB yaitu bernilai 0 – 500 meter, dan sudut  $\theta$  bernilai antara 0 hingga 360 derajat yang terdistribusi seragam dengan nilai *integer pseudorandom* (dalam MATLAB disebut fungsi *randi*). Radius dan sudut dari *user macrocell* yang dibangkitkan secara acak akan membentuk koordinat *user* tersebut yang dihitung dalam Persamaan (3.2) dan (3.3) . Koordinat ini akan dipastikan berada pada cakupan *macrocell*.

### 3.5.2 Pengaturan Letak HeNB dan Distribusi *User Femtocell*

HeNB diletakkan secara acak pada setiap *macrocell* dengan cara sama seperti distribusi *user macrocell*, yaitu dengan menggunakan Persamaan (3.2) dan (3.3) berikut.

$$\text{Koordinat HeNB}_x = \text{radius} \times \cos(\theta) \quad (3.2)$$

$$\text{Koordinat HeNB}_y = \text{radius} \times \sin(\theta) \quad (3.3)$$

Distribusi *user femtocell* dibangkitkan melalui Persamaan (3.4) dan (3.5) berikut.

$$\text{Koordinat FUE}_x = \text{Koordinat HeNB}_x + (\text{radius2} \times \cos(\theta)) \quad (3.4)$$

$$\text{Koordinat FUE}_y = \text{Koordinat HeNB}_y + (\text{radius2} \times \sin(\theta)) \quad (3.5)$$

dengan,

$$\text{radius2} = \text{randi} (0 - 10) \text{ meter}$$

$$\theta = \text{randi} (0^\circ - 360^\circ)$$

HeNB yang disebarkan adalah 10 buah HeNB untuk masing-masing *macrocell*, tiap HeNB memiliki cakupan  $\text{radius2}=10$  meter, dengan setiap HeNB melayani empat *user femtocell*.



### 3.6 Perhitungan SINR

Nilai SINR pada simulasi dihitung dengan tahapan sebagai berikut.

#### 3.6.1 Perhitungan Jarak

Nilai *jarak* antara BTS (eNB dan HeNB) dan *user* dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.6) berikut.

$$jarak (m) = \sqrt{(BTS\_x - user\_x)^2 + (BTS\_y - user\_y)^2} \quad (3.6)$$

di mana  $BTS\_x$  dan  $user\_x$  merupakan koordinat BTS dan *user* pada sumbu  $x$ , sedangkan  $BTS\_y$  dan  $user\_y$  merupakan koordinat BTS dan *user* pada sumbu  $y$ . Koordinat masing-masing BTS dan *user* dihitung dari titik nol. Perhitungan *jarak* digunakan untuk mencari nilai daya yang diharapkan maupun daya interferensi.

#### 3.6.2 Perhitungan Path Loss

Nilai *Path loss* antara pemancar dan penerima dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.5) dan (2.6) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dan ditulis ulang pada Persamaan (3.7) dan (3.8) berikut.

*Path loss* untuk *macrocell*:

$$PL (dB) = 15,3 + 37,6 \log_{10} (jarak) + L_{ow} \quad (3.7)$$

*Path loss* untuk *femtocell*:

$$PL(dB) = 127 + 30 \log_{10} \left( \frac{jarak}{1000} \right) \quad (3.8)$$

dengan  $L_{ow}$  (rugi-rugi penetrasi) bernilai 10 dB, dan *jarak* dalam satuan meter.

### 3.6.3 Perhitungan Daya yang Diterima

Perhitungan daya yang diterima ( $P_R$ ) dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.9a) berikut:

$$P_R(dBW) = P_T(dBW) - PL(dB) \quad (3.9a)$$

di mana pada transmisi *downlink*,  $P_T$  adalah daya yang dipancarkan oleh BTS dan  $PL$  adalah nilai *path loss*. Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui nilai daya yang diterima, baik itu daya yang diharapkan maupun daya interferensi. Daya yang diterima bernilai satuan daya pada skala logaritmik, nilai ini kemudian dikonversi menjadi dalam skala desimal melalui Persamaan (3.9b) berikut.

$$P_R(Watt) = 10^{\left(\frac{P_R(dBW)}{10}\right)} \quad (3.9b)$$

### 3.6.4 Perhitungan Noise

Daya *noise* dihitung menggunakan Persamaan (2.8) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dan ditulis ulang pada Persamaan (3.10). *Bandwidth* ( $Bw$ ) yang digunakan pada simulasi adalah 20 MHz. Namun sebelumnya, nilai  $N_o$  yang memiliki satuan dBW diubah terlebih dahulu menjadi satuan watt melalui Persamaan berikut.

$$N_o(Watt) = 10^{\left(\frac{N_o(dBW)}{10}\right)} = 10^{\left(\frac{-204}{10}\right)} = 3,98 \times 10^{-21} Watt$$

Setelah nilai  $N_o$  dikonversi menjadi satuan watt, selanjutnya adalah menghitung nilai *noise* menggunakan Persamaan (3.10).

$$N(Watt) = k.T.Bw = N_o(Watt).Bw \quad (3.10)$$

### 3.6.5 Perhitungan SINR

Setelah didapatkan nilai daya yang diharapkan  $P_R$  (S), daya interferensi (I), dan daya *noise* (N), maka selanjutnya adalah menghitung nilai SINR menggunakan Persamaan (3.11) berikut.

$$SINR = \frac{S \text{ (Watt)}}{I \text{ (Watt)} + N \text{ (Watt)}} \quad (3.11)$$

di mana  $S$  merupakan daya yang diharapkan,  $I$  adalah daya interferensi dan  $N$  adalah daya *noise*. Setelah didapatkan nilai SINR, selanjutnya adalah mengubah nilai tersebut menjadi dalam skala logaritmik melalui Persamaan (3.12) berikut.

$$SINR \text{ (dB)} = 10 \times \log_{10}(SINR) \quad (3.12)$$

### 3.7 Perhitungan *Throughput* dan *Bit Error Rate* (BER)

Setelah mendapatkan nilai SINR, selanjutnya adalah menghitung nilai *throughput* dan BER menggunakan Persamaan (3.13) dan (3.14) yang sebelumnya telah dijelaskan pada Persamaan (2.9) dan (2.12).

$$C = Bw \log_2(1 + SINR) \quad (3.13)$$

$$BER = \frac{3}{4} Q \left( \sqrt{\frac{4}{5} E_b / N_o} \right) \quad (3.14)$$

dengan  $C$  adalah *throughput*,  $Bw$  adalah *bandwidth* sistem yang digunakan,  $Q$  merupakan fungsi  $Q$ ,  $E_b$  adalah jumlah energi perbit, dan  $N_o$  adalah kerapatan *noise*.

### 3.8 Skenario Interferensi

Skenario interferensi yang dianalisis ditunjukkan pada Tabel 3.4 , 3.5 , dan Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.4 Skema Interferensi Skenario-1

No	User yang Terinterferensi	Penginterferensi	Jenis Interferensi	Transmisi
1	MUE-1	eNB sel 2 dan 3	<i>Co-tier</i>	<i>Downlink</i>
		HeNB (1 – 10) sel 1,2, dan 3	<i>Cross-tier</i>	<i>Downlink</i>
2	FUE-1	HeNB (2 – 10) sel 1	<i>Co-tier</i>	<i>Downlink</i>
		HeNB (1 – 10) sel 2 dan 3	<i>Co-tier</i>	<i>Downlink</i>
		eNB sel 1,2 dan 3	<i>Cross-tier</i>	<i>Downlink</i>

Tabel 3.5 Skema Interferensi Skenario-2

No	User yang Terinterferensi	Penginterferensi	Jenis Interferensi	Transmisi
1	MUE-1	eNB sel 2 dan 3	<i>Co-tier</i>	<i>Downlink</i>
		HeNB (1 – 10) sel 1	<i>Cross-tier</i>	<i>Downlink</i>
		FUE sel 2 dan 3	<i>Cross-tier</i>	<i>Uplink</i>
2	FUE-1	HeNB (2 – 10) sel 1	<i>Co-tier</i>	<i>Downlink</i>
		FUE sel 2 dan 3	<i>Co-tier</i>	<i>Uplink</i>
		eNB sel 1,2 dan 3	<i>Cross-tier</i>	<i>Downlink</i>

Tabel 3.6 Skema Interferensi Skenario-3

No	User yang Terinterferensi	Penginterferensi	Jenis Interferensi	Transmisi
1	MUE-1	MUE sel 2 dan 3	<i>Co-tier</i>	<i>Uplink</i>
		HeNB (1 – 10) sel 1, 2, dan 3	<i>Cross-tier</i>	<i>Downlink</i>
2	FUE-1	HeNB (2 – 10) sel 1	<i>Co-tier</i>	<i>Downlink</i>
		HeNB(1 – 10) sel 2 dan 3	<i>Co-tier</i>	<i>Downlink</i>
		eNB sel 1	<i>Cross-tier</i>	<i>Downlink</i>
		MUE sel 2 dan 3	<i>Cross-tier</i>	<i>Uplink</i>

Berdasarkan kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 yang telah dijelaskan sebelumnya, selanjutnya adalah menghitung nilai SINR, throughput, dan BER untuk masing-masing skenario dengan skema interferensi seperti ditunjukkan pada Tabel 3.4, Tabel 3.5, dan Tabel 3.6.

### **3.9 Metode *Power Control***

Terdapat dua skema *power control* yang digunakan untuk mengatur daya pancar eNB dan HeNB agar SINR yang didapatkan oleh *macrocell user* (MUE) dan *femtocell user* (FUE) mencapai nilai SINR target sebesar 0 dB, yaitu *power control* metode 1 dan 2.

#### **3.9.1 *Power Control Metode 1***

Metode pertama yaitu penambahan dan pengurangan daya pancar sebesar 1,5849 kali (penguatan 2 dB). Daya pancar eNB memiliki nilai maksimum 46 dBm dan minimum 10 dBm [14], sedangkan daya pancar HeNB memiliki nilai maksimum 20 dBm dan minimum -10 dBm [15]. Pada simulasi, tanpa menggunakan metode *power control*, daya pancar eNB ditetapkan bernilai sebesar 4 dBW (34 dBm), dan daya pancar HeNB ditetapkan sebesar -22 dBW (8 dBm), nilai tersebut akan tetap bernilai seperti itu seterusnya tanpa ada penambahan atau pengurangan daya. Nilai 4 dBW dan -22 dBW dipilih karena nilai ini adalah nilai tengah antara nilai minimum dan nilai maksimum praktis yang mungkin. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, eNB memiliki nilai minimum dan maksimum sebesar -20 dBW dan 16 dBW, sedangkan HeNB memiliki nilai minimum dan maksimum sebesar -40 dBW dan -10 dBW.

Pada metode *power control-1*, daya pancar eNB dan HeNB dipilih bernilai 4 dBW dan -22 dBW pada simulasi di waktu pertama ( $t=n$ ), ketika simulasi berikutnya ( $t=n+1$ ), apabila nilai SINR yang didapat oleh MUE dan FUE tidak mencapai target, maka akan dilakukan pengontrolan daya, yaitu penambahan daya sebesar 1,5849 kali (daya pancar dikuatkan 2 dB) apabila SINR kurang dari target, dan pengurangan daya sebesar 1,5849 kali (daya pancar dilemahkan 2 dB) apabila nilai SINR lebih dari target. Secara matematis, metode *power control-1* bekerja melalui Persamaan (3.15) dan (3.16) berikut.

$$SINR < 0 \text{ dB, maka } P_{T(t_{n+1})}(dBW) = P_{T(t_n)}(dBW) + 2 \text{ dB} \quad (3.15)$$

$$SINR > 0 \text{ dB, maka } P_{T(t_{n+1})}(dBW) = P_{T(t_n)}(dBW) - 2 \text{ dB} \quad (3.16)$$

di mana  $0 \text{ dB}$  merupakan nilai SINR target,  $P_T$  adalah daya pancar BTS (eNB dan HeNB), dan  $n$  adalah waktu saat ke- $n$ , dengan nilai  $n=1,2,3,4,\dots,t_{simulasi}$ .  $t_{simulasi}$  merupakan waktu simulasi yang ditetapkan bernilai 100, artinya terjadi pengulangan hingga 100 kali.

### 3.9.2 Power Control Metode 2

Pada *power control* metode 2, terdapat penambahan variabel yaitu delta ( $\Delta$ ), di mana nilai delta merupakan selisih dari nilai SINR yang didapat saat pengamatan dengan SINR target, atau secara matematis dituliskan pada Persamaan (3.17) dan (3.18) berikut.

Jika  $SINR_{(t_n)} < 0 \text{ dB}$ , maka  $\Delta = 0 - SINR_{(t_n)}$

$$P_{T(t_{n+1})}(dBW) = P_{T(t_n)}(dBW) + \Delta \quad (3.17)$$

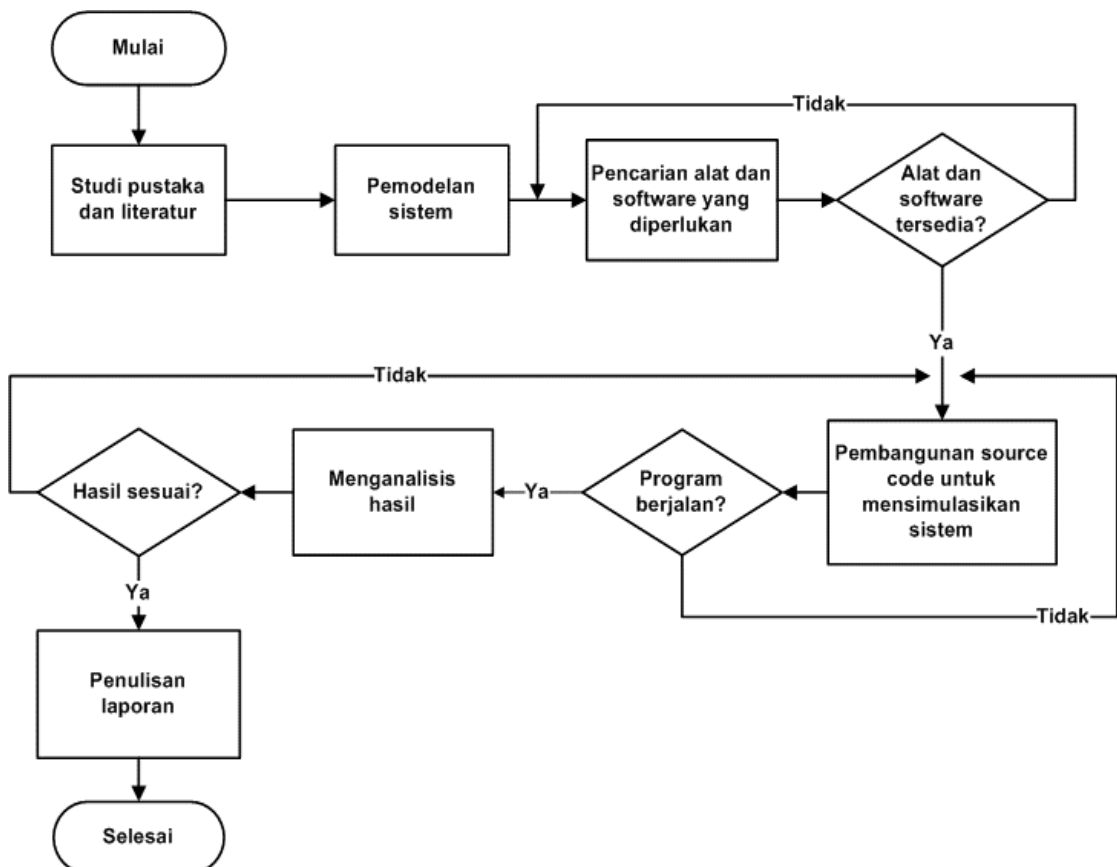
Sedangkan jika  $SINR_{(t_n)} > 0 \text{ dB}$ , maka  $\Delta = SINR_{(t_n)} - 0$

$$P_{T(t_{n+1})}(dBW) = P_{T(t_n)}(dBW) - \Delta \quad (3.18)$$

Sama seperti pada metode *power control-1*, pada metode *power control-2*, nilai  $P_T$  ditetapkan bernilai -4 dBW untuk eNB dan -22 dBW untuk HeNB.  $\Delta$  (delta) merupakan selisih antara nilai SINR yang didapat saat pengamatan dengan SINR target, dan  $n$  merupakan waktu pengamatan ( $t=n$ ) Pada *power control-2*, waktu simulasi ( $t_{\text{simulasi}}$ ) juga bernilai sama seperti pada *power control-1*, yaitu sebanyak 100 kali. Artinya  $n$  memiliki nilai berkisar antara  $n=1,2,3,\dots,100$ .

### 3.10 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

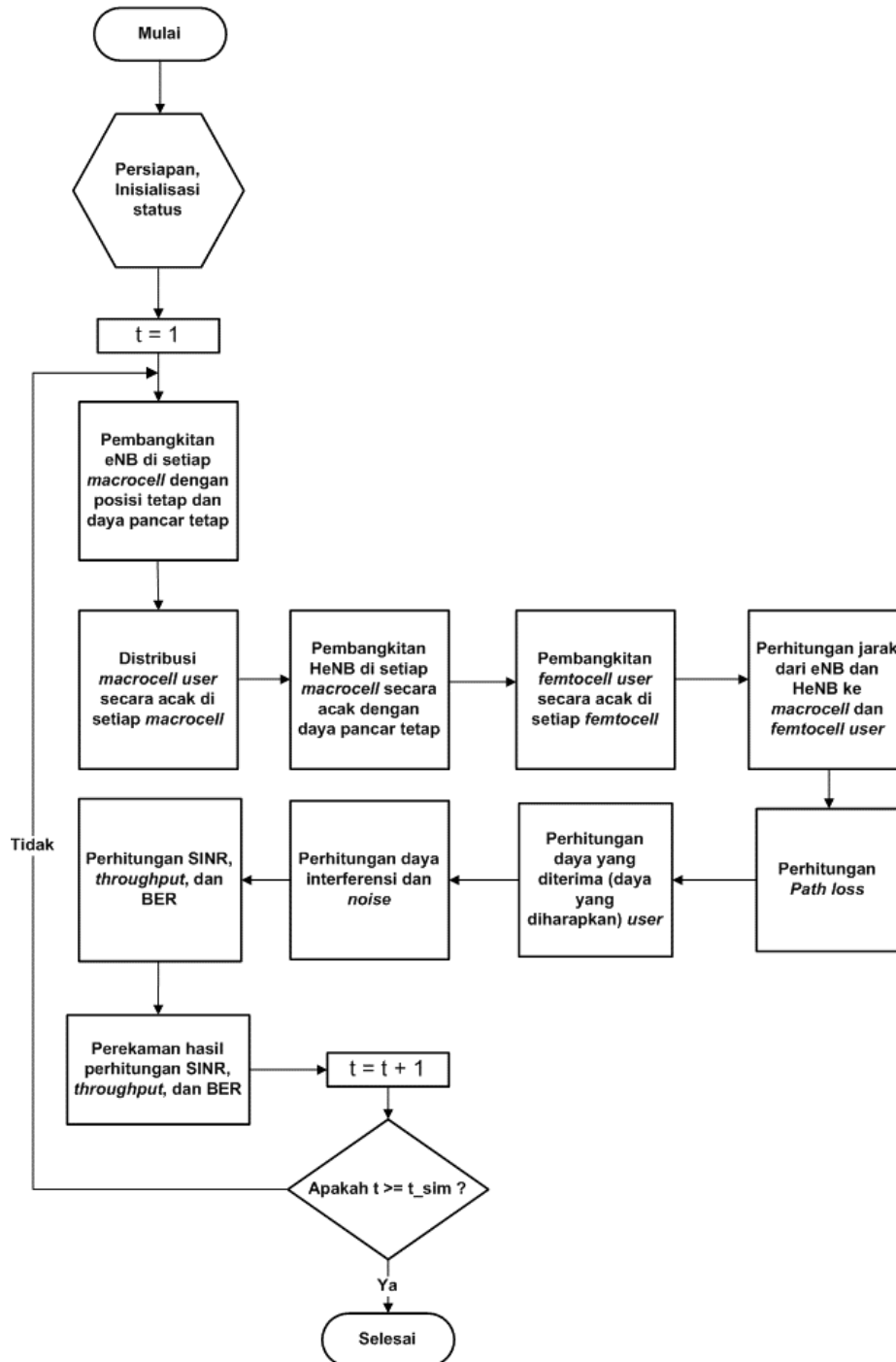
Adapun diagram alir pengerjaan skripsi ditunjukkan pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

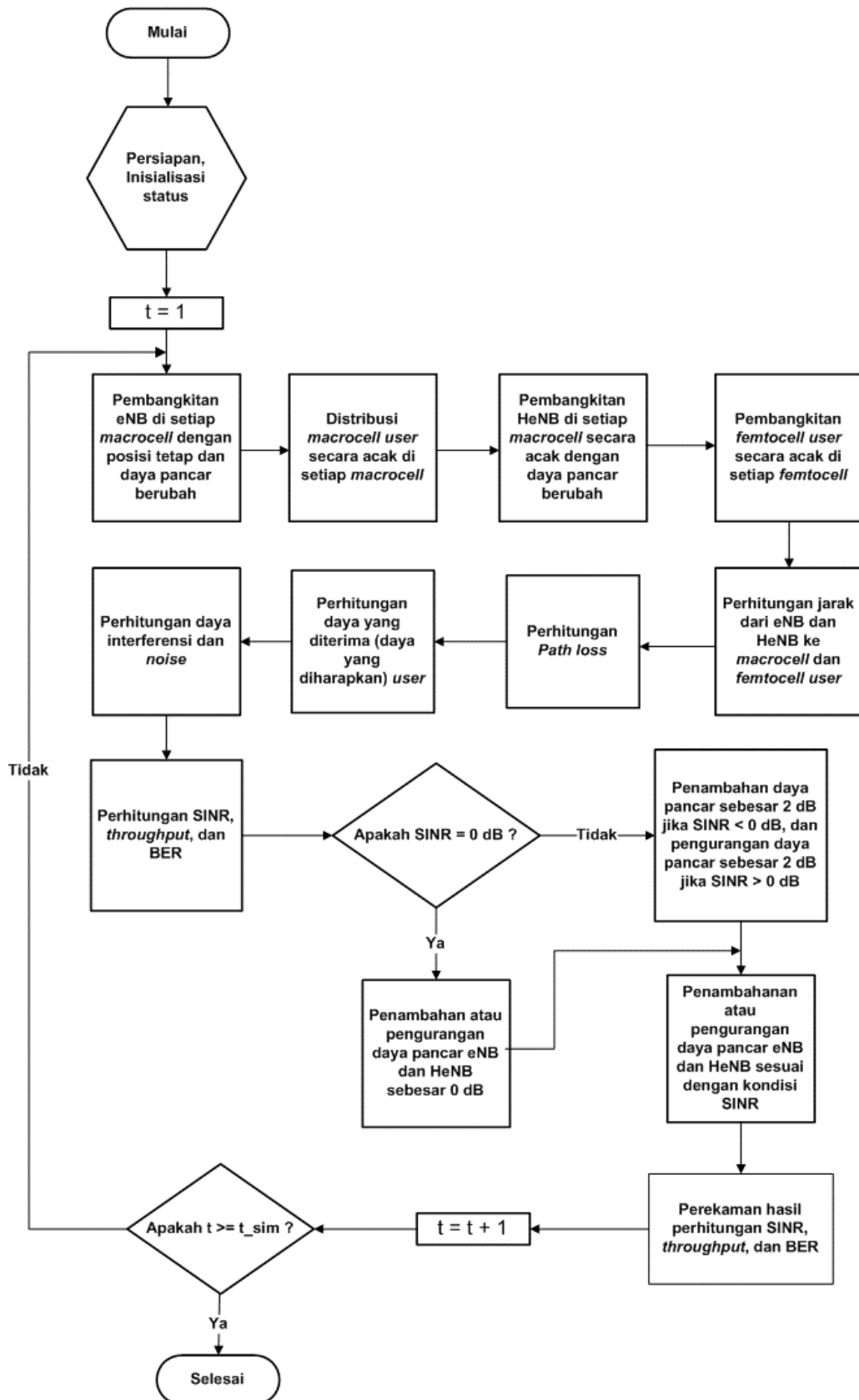
### 3.11 Diagram Simulasi Sistem

Diagram simulasi sistem yang dilakukan sebelum dan setelah digunakannya metode *power control* ditunjukkan pada Gambar 3.6, Gambar 3.7, dan Gambar 3.8 berikut ini.

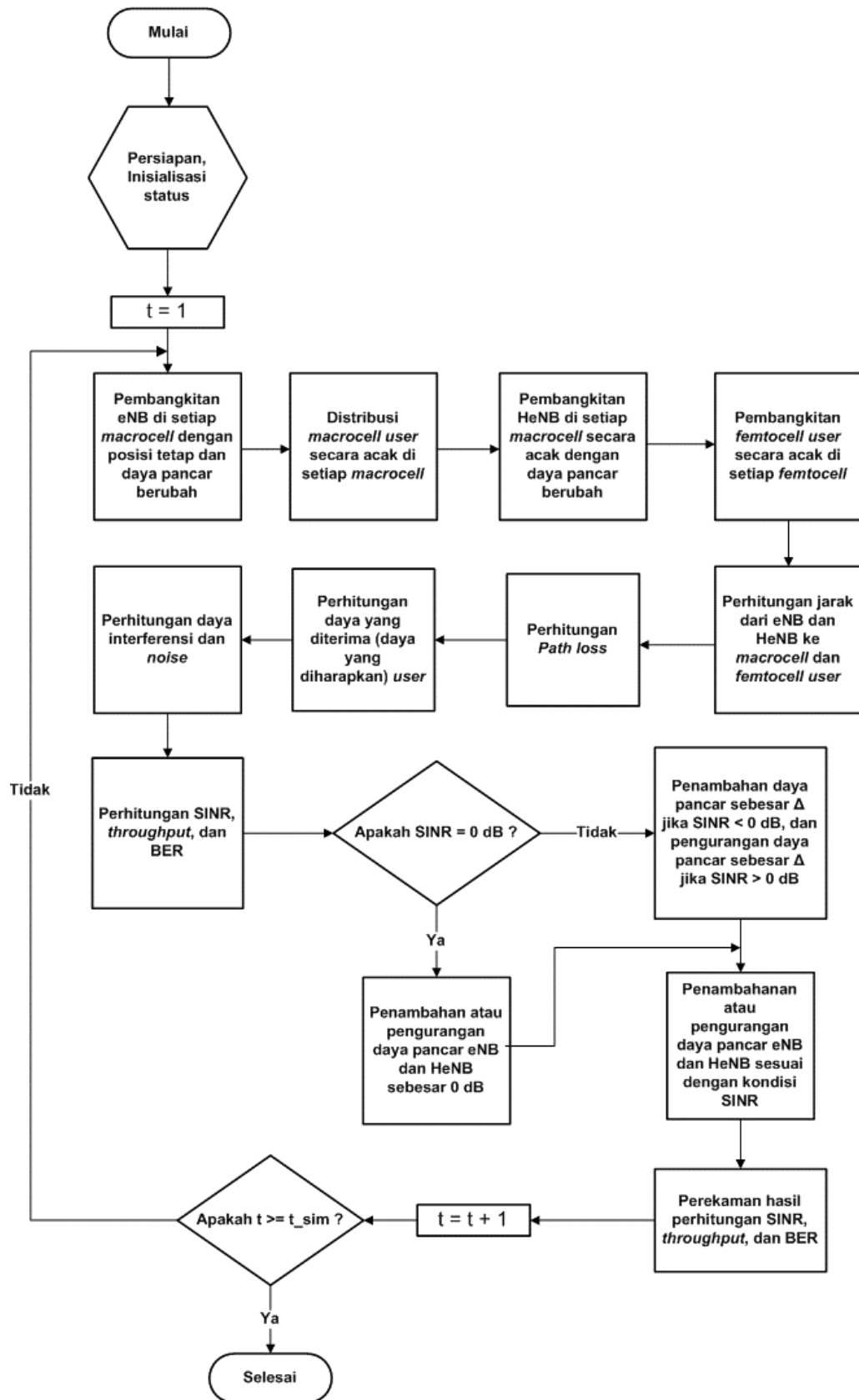


Gambar 3.6 Diagram Alir Simulasi Sistem tanpa Menggunakan Metode *Power Control* pada *Femtocell* dan *Macrocell*





Gambar 3.7 Diagram Alir Simulasi Sistem dengan Menggunakan Metode *Power Control-1* pada *Femtocell* dan *Macrocell*



Gambar 3.8 Diagram Alir Simulasi Sistem dengan Menggunakan Metode *Power Control-2* pada *Femtocell* dan *Macrocell*

Gambar 3.6 merupakan diagram alir simulasi sistem tanpa menggunakan metode *power control*. Gambar 3.7 merupakan diagram alir simulasi sistem dengan menggunakan metode *power control-1*, dan Gambar 3.8 merupakan diagram alir simulasi sistem dengan menggunakan metode *power control-2*. Masing-masing diagram alir memiliki waktu simulasi ( $t_{sim}$ ) sebesar 100 kali. Pada Gambar 3.8 yang menjelaskan diagram alir untuk simulasi menggunakan *power control-2*, nilai  $\Delta$  (delta) didapatkan melalui Persamaan (3.17) dan Persamaan (3.18) yang telah dijelaskan sebelumnya.

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 SIMPULAN**

Berdasarkan simulasi dan analisis hasil yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat dua jenis interferensi utama pada jaringan seluler *two-tier*, yaitu interferensi *co-tier* dan interferensi *cross-tier*. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, interferensi *cross-tier* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan interferensi *co-tier*, baik pada sisi *Macrocell User Equipment* (MUE), maupun pada *Femtocell User Equipment* (FUE),
2. Metode *power control* mampu meningkatkan maupun menurunkan nilai SINR pada MUE dan FUE mendekati nilai SINR target. Pada skripsi ini nilai SINR target diambil sebesar 0 dB yang bersesuaian dengan nilai SINR target untuk tipe trafik VoIP. Peningkatan SINR terjadi pada MUE, sedangkan pada FUE, nilai SINR cenderung mengalami penurunan,
3. Selain daya pancar BTS (eNB dan HeNB) yang diharapkan, faktor lain yang mempengaruhi nilai SINR adalah daya pancar penginterferensi dan *path loss*,
4. Dari 3 skenario yang disimulasikan, skenario distribusi SINR, *throughput*, dan BER dengan interferensi total yang paling baik adalah pada skenario 3,

dengan nilai probabilitas  $SINR \leq 0$  dB untuk FUE dan MUE adalah sebesar 14% dan 5% untuk metode *power control-1*, dan 19% dan 4% untuk metode *power control-2*,

5. Skenario dengan interferensi total yang terburuk adalah pada skenario-1, dengan nilai probabilitas  $SINR \leq 0$  dB untuk FUE dan MUE adalah sebesar 20% dan 5% untuk metode *power control-1*, dan 27% dan 4% untuk metode *power control-2*,
6. Peningkatan dan penurunan nilai SINR akan berpengaruh terhadap nilai *throughput* dan *Bit Error Rate* (BER), dimana semakin besar nilai SINR, *throughput* yang dihasilkan akan semakin besar dan nilai BER akan semakin kecil,
7. Dengan menggunakan metode *power control*, permasalahan interferensi pada jaringan seluler *two-tier macrocell* dan *femtocell* dapat teratasi. Hal ini ditandai dengan hasil distribusi SINR yang lebih baik (mendekati nilai SINR target) dibandingkan sebelum diterapkannya metode *power control*.

## 5.2 SARAN

Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Pada simulasi yang terdiri dari jaringan seluler *two-tier* dengan tiga buah *macrocell*, metode *power control* diterapkan tidak hanya pada *macrocell-1* saja, tetapi diterapkan juga pada *macrocell-2* dan *macrocell-3*,
2. Perlu dipertimbangkan mobilitas *user*,

3. Peningkatan jumlah *user* dan sel dengan interferensi yang dianalisis mengacu pada ITU RR-A1,
4. Penambahan parameter QoS yang dianalisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Worldwide Internet and Mobile Users: Emarketer's Updated Estimates For 2015. <http://www.emarketer.com/Article/Asia-Pacific-Emerging-Markets-Grab-Highest-Smartphone-User-Shares/1010938>. (diakses pada tanggal 3 Februari 2016)
- [2] Zhang, J. and G. de la Roche. 2010. *Femtocells: Technologies and Deployment*. John Wiley and Sons, Ltd. United Kingdom. ISBN: 978-0-470-74298-3.
- [3] Saquib, N., E. Hossain, L. B. Le and D. I. Kim. 2012. *Interferences Management in OFDMA Femtocell Network: Issues and Approaches*. IEEE Wireless Communications Vol.15, No. 1. Hal. 86 - 95.
- [4] Fackhriyan, M. N., N. Mufti dan L. V. Yovita. 2013. *Simulasi dan Analisis Kerja Power Control pada LTE Femtocell*. Skripsi. Universitas Telkom, Bandung.
- [5] Febryanti, S., G. Hendrantoro dan D. Kuswidiastuti. 2013. *Analisis Kinerja Metode Power Control untuk Manajemen Interferensi Sistem Komunikasi Uplink LTE-Advanced dengan Femtocell*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 2., ISSN: 2337-3539. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [6] Rappaport, T. S. 2002. *Wireless Communication: Principles and Practices*. Prentice Hall. New Jersey. ISBN: 978-0-130-42232-3
- [7] Afrozi, F., K. Sandrasegaran and H. Al Kim. 2015. *Interferences Management in LTE Downlink Networks*. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 7, No. 1.
- [8] 3GPP TS 36.300 version 10.5.0. 2011. "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description", Stage 2 (Release 10),

- [9] Zahir, T., K. Arshad, A. Nakata and K. Moessner. 2013. *Interference Management in Femtocells*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15, No.1. Hal. 293 - 311.
- [10] Zyren, J. 2007. *Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer*. WhitePaper.[http://www.freescale.com/files/wirelesscomm/doc/white\\_paper/3GPPEVOLUTIONWP.pdf](http://www.freescale.com/files/wirelesscomm/doc/white_paper/3GPPEVOLUTIONWP.pdf), (diakses pada tanggal 28 Maret 2016)
- [11] Holma, H. and A. Toskala. 2009. *LTE for UMTS—OFDMA and SC-FDMA based Radio Access*. John Wiley & Sons, Inc. New York. ISBN: 978-0470-99401-6.
- [12] Kelif, J. M., M. Coupechoux and P. Godlewski. 2012. *On The Dimensioning of Cellular OFDMA Networks*. Elsevier Physical Communication, Vol. 15, No.1. Hal 10 -21.
- [13] Kolger, U., G. D. Galdo, A. Grosch and M. Haardt. 2008. *Quality of Services Oriented Spatial Processing in The Manhattan Grid. 2008 International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2008.)* Ilmenau University of Technology, Germany.
- [14] 3GPP TSG RAN WG4 (Radio) Meeting #51 R4-092042.May, 2009. "Simulation assumption and parameters for FDD HeNB RF requirements". San Francisco, CA.
- [15] 3GPP TR 36.922. October, 2014. "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis". Version 12.0.0 Release 12.
- [16] Garg, V. K. 2007. *Wireless Communications and Networking*. Elsevier Inc. San Francisco. ISBN: 978-0-123-73580-5.
- [17] Goldsmith, A. 2005. *Wireless Communications*. Stanford University. California. ISBN: 978-0-521-83716-3.
- [18] 3GPP TS 36.101. Juny, 2011. "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception". Version 10.3.0 Release 10.