MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN METODE ALOKASI SUMBER DAYA RADIO DINAMIS DAN *RELAY-BASED CLUSTERING* PADA *ULTRA DENSE NETWORKS* (UDN) DALAM SKENARIO JARINGAN FEMTO-MAKROSELULER

(Tesis)

Oleh
SITRONELLA NURFITRIANI HASIM

PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN METODE ALOKASI SUMBER DAYA RADIO DINAMIS DAN *RELAY-BASED CLUSTERING* PADA *ULTRA DENSE NETWORKS* (UDN) DALAM SKENARIO JARINGAN FEMTO-MAKROSELULER

Oleh
SITRONELLA NURFITRIANI HASIM

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

Pada

Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung

PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

ABSTRAK

MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN METODE ALOKASI SUMBER DAYA RADIO DINAMIS DAN *RELAY-BASED CLUSTERING* PADA *ULTRA DENSE NETWORKS* (UDN) DALAM SKENARIO JARINGAN FEMTO-MAKROSELULER

OLEH

SITRONELLA NURFITRIANI HASIM

Abstrak—*Femtocell* merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan kualitas layanan dan kapasitas jaringan bagi pengguna yang berada di dalam ruangan. Namun, *femtocell* yang disebarkan di dalam *macrocell* sering mengalami interferensi karena *femtocell* yang tersebar di daerah *macrocell* berbagi sumber daya radio yang sama dengan *macrocell*. Terbatasnya ketersediaan spektrum frekuensi, menyebabkan interferensi ini terjadi. Pada tesis ini dilakukan manajemen inteferensi pada jaringan *femtocell-macrocell* khususnya *femtocell* yang berada di area sisi sel menggunaka metode alokasi sumber daya radio dinamis, metode *relay-based clustering*, dan metode gabungan dari dua metode tersebut. Hasil simulasi yang telah dilakukan untuk skenario *femtocell* disebarkan di seluruh cakupan area sisi sel menunjukkan bahwa kenaikan *Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio* (SINR) pada metode gabungan mencapai 11%, sedangkan kenaikan SINR pada metode alokasi sumber daya radio dinamis dan *relay-based clustering* mencapai 9% dan 2%. Parameter-parameter kinerja lainnya yang digunakan pada tesis ini adalah *throughput* dan *Bit Error Rate* (BER). Hasil simulasi untuk kedua parameter kinerja ini juga menunjukkan hasil yang konsisten dengan hasil SINR. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa metode gabungan yang diusulkan lebih baik dibandingkan dengan metode alokasi sumber daya radio dinamis dan metode *relay-based clustering*. Untuk kesemua metode dapat dikatakan bahwa metode yang diusulkan cocok untuk *Ultra Dense Network* (UDN).

Kata kunci —Manajemen interferensi, metode alokasi sumberdaya radio dinamis, metode *relay-based clustering*, metode gabungan, sisi sel.

ABSTRACT

INTERFERENCE MANAGEMENT USING DYNAMIC RADIO RESOURCES ALLOCATION AND RELAY-BASED CLUSTERING METHODS ON ULTRA DENSE NETWORKS (UDN) OF FEMTO-MACROCELLULAR NETWORKS

By

SITRONELLA NURFITRIANI HASIM

Abstract— Femtocell is one of solutions to improve quality of service and network capacity for users in indoor areas. However, femtocells that are deployes in macrocells often experience interferences because femtocells deployed in macrocell areas share the same radio resources as macrocells. The limited availability of the frequency spectrum causes this interference to occur. In this thesis, interference management will be carried out on the femtocell-macrocell network, especially femtocells located in the cell edge area using the dynamic radio resource allocation, relay-based clustering, and the combined method of the two methods. The simulation results that have been carried out for the femtocell deployed in the whole coverage area of the edge macrocell show that the increase for Signal-to-Interference-plus-Noise-Ratio (SINR) in the combined method reaches 11%, while the increase for SINR in the dynamic radio resource allocation and relay -based clustering methods reached 9% and 2%. Other performance parameters that are used in this thesis are throughput and Bit Error Rate (BER). The simulation results for these two performance parameters also show the results that are consistent with the results of SINR. Thus, it can be said that the combined method is better than the dynamic radio resource allocation and the relay-based clustering methods. It can be said also that all proposed methods are suitable for Ultra Dense Networks (UDN).

Keywords —Interference management, dynamic radio resource allocation method, relay-based clustering method, combined method, cell edge.

Judul Tesis	: **MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN METODE ALOKASI SUMBER DAYA RADIO DINAMIS DAN *RELAY-BASED CLUSTERING* PADA *ULTRA DENSE NETWORKS* (UDN) DALAM SKENARIO JARINGAN FEMTO-MAKROSELULER**
Nama Mahasiswa	: Sitronella Nurfitriani Hasim
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1925031003
Program Studi	: Magister Teknik Elektro
Fakultas	: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.	**Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**
NIP 19710525 199903 1 001	NIP 19750928 200112 1 002

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

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

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji

   Ketua Komisi Penguji
   (Pembimbing I) : **Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.** .....

   Sekretaris Komisi Penguji
   (Pembimbing II) : **Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** .....

   Anggota Komisi Penguji
   (Penguji I) : **Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.** .....

   Anggota Komisi Penguji
   (Penguji II) : **Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

   Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
   NIP 19750928 200112 1 002

3. Direktur Program Pascasarjana

   Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
   NIP 19710415 199803 1 005

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **16 Desember 2021**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa sesungguhnya tesis yang saya susun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik pada Progam Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya adalah benar merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis ini, saya kutip dari hasil penulisan orang lain yang sumbernya dituliskan dengan jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah.

Tesis dengan judul "Manajemen Interferensi dengan Metode Alokasi Sumber Daya Radio dan *Relay-Based Clustering* pada *Ultra Dense Network* (UDN) dalam Skenario Jaringan Femto-Makroseluler" dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu:

1. Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/ Ibu Dosen Progam Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis yang saya buat ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Desember 2021

Sitronella Nurfitriani Hasim
NPM: 1925031003

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bengkulu pada tanggal 7 Maret 1995, sebagai anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Rosid Hasim dan Ibu Desi Widianti. Penulis memiliki tiga saudara laki-laki bernama Ambergis Hasheme Rafsanjani, Kahfi Kusuma Negara, dan Argon Danamiharja.

Penulis memulai pendidikan Sekolah Dasar di SD Al- Azhar 2 Bandar Lampung pada tahun 2001-2007, Sekolah Menengah Pertama ditempuh di SMP Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2007-2010, melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMA Al-Kautsar Bandar Lampung, pada tahun 2010-2013.

Tahun 2013, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) pada tahun 2015-2016. Penulis juga telah melaksanakan kerja praktik (KP) di PT. Telekomunikasi Indonesia – Bandar Lampung.

Pada Tahun 2019 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Lampung. Pada tahun 2020 penulis melakukan penelitian pada bidang sistem tenaga listrik dengan judul tesis "Manajemen Interferensi dengan Metode Alokasi Sumber Daya Radio dan *Relay-Based Clustering* pada *Ultra Dense Network* (UDN) dalam Skenario Jaringan Femto-Makroseluler" dibawah bimbingan Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

Bandar Lampung, 21 Desember 2021
Penulis

SITRONELLA NURFITRIANI HASIM

PERSEMBAHAN

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

Karya tulis ini kupersembahkan untuk:

"Keluargaku Tercinta"

Dosen Teknik Elektro
Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis maupun non akademis

Teman- teman kebanggaanku
Rekan – rekan Jurusan Teknik Elektro

Sahabat-sahabatku
Yang selalu membantu, memberikan semangat, mendukung menuju keberhasilan, serta berbagi cerita suka duka dalam berkeluh kesah

Keluarga Besar Magister Teknik Elektro 2019
Yang selalu memberi semangat, dukungan dalam proses yang sangat panjang, dan selalu berdiri bersama dalam perjuangan menuju kesuksesan

Almamaterku
Universitas Lampung

Bangsa dan Negaraku
Republik Indonesia

Terima kasih untuk semua yang telah diberikan kepadaku. *Jazzakumullah Khairan*

MOTTO

"Hidup hanyalah sebuah proses, maka laluilah dengan yakin. Jangan nodai proses hidup dengan keraguan"

"Jika sudah memulai maka harus sanggup menyelesaikan"

Ketika kita disuguhkan dengan kegagalan-kegagalan, yakinlah keberhasilan sudah dekat: "Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan"

(Q.S. ALAM NASYRAH 94:5)

"Penilaian manusia itu relatif, benar menurut manusia belum tentu benar, salah belum tentu salah. Allah SWT penilai mutlak"

"Perkecillah dirimu, maka kau akan tumbuh lebih besar dari dunia. Tiadakan dirimu, maka jati dirimu akan terungkap tanpa kata-kata"

(Maulana Jalaluddin Rumi)

SAN WACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillahirobbilalamin, Penulis haturkan puji syukur atas kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis dengan mempersembahkan judul tesis "Manajemen Interferensi dengan Metode Alokasi Sumber Daya Radio dan *Relay-Based Clustering* pada *Ultra Dense Network* (UDN) dalam Skenario Jaringan Femto-Makroseluler" dengan sebaik-baiknya.

Shalawat beriring salam selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam Nabi Muhammad SAW, sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari ajal menjemput.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Untuk itu dengan sepenuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Karomani, M. Si, Selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. Selaku Direktur Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung sekaligus dosen pembimbing kedua tesis yang banyak memberikan waktu, ide pemikiran dan semangat serta motivasi bagi penulis.
4. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung sekaligus dosen pembimbing utama tesis yang banyak memberikan waktu, ide pemikiran dan semangat serta motivasi bagi penulis..
6. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji utama yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
7. Ibu Dr. Ing. Melvi, S.T., M.T. selaku dosen penguji kedua yang telah banyak memberikan kritik, saran dan motivasi yang bermanfaat bagi penulis.
8. Seluruh Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Seluruh Tenaga Pendidik Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Seluruh teman-teman Program Studi Magister Teknik Elektro Unila angkatan 2019 untuk kebersamaan yang telah dijalani. Tiada kata yang dapat penulis utarakan untuk mengungkapkan perasaan senang dan bangga menjadi bagian dan juga beban dari angkatan 2019.

11. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi isi maupun cara penyajiannya. Oleh karena itu, Penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun dari pembaca. Akhir kata sedikit harapan penulis semoga karya sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin Allahumma Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 21 Desember 2021
Penulis,

Sitronella Nurfitriani Hasim

DAFTAR ISI

COVER i

HALAMAN JUDUL ii

ABSTRAK iii

LEMBAR PERSETUJUAN v

LEMBAR PENGESAHAN vi

SURAT PERNYATAAN vii

RIWAYAT HIDUP viii

PERSEMBAHAN x

MOTTO xi

SAN WACANA xii

DAFTAR ISI xv

DAFTAR GAMBAR …… xviii

DAFTA TABEL ……..... xxii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Tujuan Penelitian 4

1.3 Manfaat Penelitian 4

1.4 Rumusan Masalah 4
1.5 Batasan Masalah 5
1.6 Hipotesis Penelitian 5
1.7 Sistematika Penulisan 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka Pada Penelitian Yang Berkaitan 8
2.2 Konsep Seluler 16
2.3 *Frequency Reuse* 18
2.4 *Ultra Dense Networks* (UDN) 19
2.5 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) 22
2.6 SC-FDMA 23
2.7 *Resource Block* 23
2.8 Manajemen *Resource Allocation* 26
2.9 *Quality of Service* (QoS) 27
2.10 Kerangka Berfikir 28

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan 31
3.2 Metode Penelitian 31
3.2.1 Pemodelan Sistem 32
3.2.1.1 Model Sistem Ketika *Femtocell* Tersebar di Seluruh Area Cakupan Sisi Sel dari *Macrocell* 32
3.2.1.2 Model Sistem dengan Pembagian 6 Sektor pada *Macrocell* dan ketika *Femtocell* Tersebar pada Sisi Sel di 6 Sektor Cakupan Area *Macrocell* 38
3.2.2 Implementasi Simulator Sistem 44
3.2.3 Parameter Simulasi 47
3.2.4 Perhitungan Sistem 48

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 SINR 54
4.1.1 Probabilitas Nilai SINR Ketika *Femtocell* Tersebar di Seluruh Area Cakupan Sisi Sel *Macrocell* (*Non-Sectoral*) 54
4.1.2 Probabilitas Nilai SINR Ketika *Femtocell* Disebarkan di Dalam Sektor 1 an Sektor 2 *Macrocell* (*Sectoral*) 61
4.2 *Throughput* 69
4.2.1 Probabilitas Nilai *Throughput* Ketika *Femtocell* Tersebar di Seluruh Area Cakupan Sisi Sel *Macrocell* (*Non-Sectoral*) 69
4.2.2 Probabilitas Nilai *Throughput* Ketika *Femtocell* Disebarkan di Dalam *Macrocell* Sektor 1 dan Sektor 2 (*Sectoral*) .. 75
4.3 *Bit Error Rate* (BER) 82
4.3.1 Probabilitas Nilai BER Ketika *Femtocell* Tersebar di Seluruh Area Cakupan Sisi Sel *Macrocell* (*Non-Sectoral*) 82
4.3.2 Probabilitas Nilai BER Ketika *Femtocell* Disebarkan di Dalam Sektor 1 an Sektor 2 *Macrocell* (*Sectoral*) ....
4.4 Perbedaan Penelitian Yang Berkaitan dengan yang Diusulkan pada Tesis ini 93

BAB V SIMPULAN DAN SARAN 94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Seluler 17

Gambar 2.2 Ilustrasi Konsep *Frequency Reuse* 19

Gambar 2.3 Frame FDD (*Frequency Division Duplex*) 24

Gambar 2.4 Penjadwalan Alokasi Sumber Daya Secara Umum 27

Gambar 2.5 Diagram Kerangka Berfikir 30

Gambar 3.1 Interferensi yang Terjadi pada *Femtocell* 33

Gambar 3.2 Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis 35

Gambar 3.3 Metode *Relay-Based Clustering* 36

Gambar 3.4 Metode Gabungan 37

Gambar 3.5 Penyebaran *Femtocell* di dalam Macrocell yang telah dibagi 6 Sektor Berdasarkan Sistem Konvensional 38

Gambar 3.6 Penyebaran Femtocell di dalam Macrocell yang telah dibagi menjadi 6 Sektor Berdasarkan Sistem yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis 40

Gambar 3.7 Penyebaran Femtocell di dalam Macrocell yang telah dibagi menjadi 6 Sektor Sistem yang Menerapakan Metode Relay-Based Clustering 41

Gambar 3.8 Penyebaran Femtocell di dalam Macrocell yang telah dibagi menjadi 6 Sektor Berdasarkan Sistem yang Menerapakan Metode Kombinasi dari Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis dan Relay-Based Clustering 43

Gambar 3.9 Model Sistem HenB dan MUE yang Tersebar Acak Di Area Sisi Sel 45

Gambar 3.10 Model Sistem Femtocell Tersebar di Area Macrocell 1 Yang Dibagi Ke Dalam 6 Sektor 46

Gambar 4.1 Perbandingan SINR Sistem Konvensional dengan Sistem Yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis 55

Gambar 4.2 Perbandingan SINR Sistem Konvensional dan Metode Relay-Based Clustering 57

Gambar 4.3 Perbandingan SINR Sistem Konvensional dan Metode Gabungan 59

Gambar 4.4 Perbandingan SINR Seluruh Sistem 60

Gambar 4.5 Perbandingan Probabilitas SINR Sistem Konvensional dan Sistem Yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis pada Sektor 1 dan 2 63

Gambar 4.6 Perbandingan Probabilitas SINR Sistem Konvensional dan Sistem Yang Menerapkan Metode Relay-Based clustering pada Sektor 1 dan 2 64

Gambar 4.7 Perbandingan Probabilitas SINR Sistem Konvensional dan Sistem Yang Menerapkan Metode Gabungan pada Sektor 1 dan 2 66

Gambar 4.8 Perbandingan Probabilitas Nilai SINR dari Seluruh Sistem: (a) Sektor 1 dan (b) Sektor 2 68

Gambar 4.9 Perbandingan Throughput Sistem Konvensional dan Sistem yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis 70

Gambar 4.10 Perbandingan Throughput Sistem Konvensional dengan Sistem yang Menerapkan Metode Relay-Based Clustering 71

Gambar 4.11 Perbandingan Throughput Sistem Konvensional dengan Metode Gabungan 73

Gambar 4.12 Perbandingan Throughput Seluruh Sistem 74

Gambar 4.13 Perbandingan Probabilitas throughput Sistem Konvensional dan Sistem Yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis pada Sektor 1 dan 2 76

Gambar 4.14 Perbandingan Probabilitas Throughput Sistem Konvensional dan Sistem Yang Menerapkan Metode *Relay-Based Clustering* pada Sektor 1 dan Sektor 2 77

Gambar 4.15 Perbandingan Probabilitas Throughput Sistem Konvensional dan Sistem Yang Menerapkan Metode Gabungan pada Sektor 1 dan 2 79

Gambar 4.16 Perbandingan Nilai Throughput Seluruh Sistem pada: (a) Sektor 1 dan (b) Sektor 2 81

Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nilai BER Sistem Konvensional dan Sistem Yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis 83

Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai BER Sistem Konvensional dan Sistem yang Menerapkan Metode Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai BER Sistem Konvensional dan Sistem yang Menerapkan Metode *Relay-Based Clustering* 84

Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Nilai BER Sistem Konvensional dan Sistem yang Menerapkan Metode Gabungan 85

Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Nilai BER dari Seluruh Sistem 87

Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai BER Antara Sistem Konvensional dan Sistem yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis 88

Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Nilai BER Antara Sistem Konvensional dan Sistem yang Menerapkan Metode Relay-Based Clustering 89

Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Nilai BER Antara Sistem Konvensional dan Sistem yang Menerapkan Metode Gabungan 90

Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Nilai BER Seluruh Sistem 92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berbagai Jenis Small Cells 20

Tabel 2.2 Gambaran Teknik Manajemen Interferensi 22

Tabel 2.3 Satuan waktu dalam LTE..... 25

Tabel 2.4 Resource block dan sub-carrier pada bandwidth tertentu 26

Tabel 2.5 Level Pengukuran untuk SINR 28

Tabel 3.1 Parameter Simulasi 48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Trafik data nirkabel terus meningkat secara dramatis, terutama trafik yang datang dari pengguna layanan komunikasi nirkabel seluler. Hal ini mendorong para penyedia layanan (provider) komunikasi nirkabel seluler, akademisi, dan industri selalu berinovasi untuk meningkatkan kualitas layanan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa lebih dari 70% pengguna seluler berada di dalam ruangan, seperti apartemen, perkantoran, dan sekolah [1]. Namun, pengguna yang berada di dalam ruangan sering kali mengalami pelemahan sinyal jaringan, yang disebabkan oleh sinyal dari antenna pemancar pada *Base Transceiver Station* (BTS) teredam oleh dinding ruangan, pintu, dan jendela. Penurunan level sinyal berdampak pula pada kecepatan transfer data.

Teknologi *ultra dense networks* (UDN) merupakan salah satu teknologi kunci pembentuk jaringan seluler generasi ke-5 (5G) yang menjanjikan untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan data [2]. UDN terbentuk dari *femtocell* yang tersebar secara padat di area *macrocell* dan hal ini menjadikan UDN sebagai salah solusi untuk mengatasi masalah pelemahan sinyal yang terjadi pada area *indoor*. *Femtocell* merupakan sebuah teknologi yang menghubungkan perangkat seluler ke jaringan

operator tertentu melalui koneksi broadband pengguna yang ada [3]. Pada umumnya, *femtocell* terdiri dari tiga mode akses yaitu mode tertutup, mode terbuka, dan mode *hybrid*. Mode tertutup digunakan bagi pengguna yang teregristrasi pada *femtocell*, sedangkan mode terbuka mengizinkan semua pengguna untuk menggunakan *femtocell*. Pada mode akses *hybrid*, beberapa *femtocell* dapat melayani pengguna yang tidak terdaftar.

Namun dalam penggunaannya, *femtocell* sering mengalami interferensi baik sesama *femtocell* (*co-tier*) atau *femtocell-macrocell* (*cross-tier*), karena *femtocell* yang tersebar di daerah *macrocell* berbagi sumber daya radio yang sama dengan sumber daya radio yang digunakan oleh *macrocell*. Terbatasnya ketersediaan spektrum frekuensi, menyebabkan interferensi ini terjadi. Dalam mengatasi masalah yang demikian, banyak literatur yang mengusulkan untuk memanajemen interferensi dalam area *Ultra Dense Networks* (UDN), di antaranya disebutkan pada penelitian [4-5].

Penulis pada penelitian [4] mengusulkan teknik alokasi sumber daya efisien yang dapat mengurangi efek interferensi uplink dalam jaringan *femtocell two-tier*. Agar tujuan ini tercapai, penulis merumuskan skema optimasi menggunakan pemrograman integer (IP). Tetapi hasil yang didapatkan tidak praktis karena kompleksitasnya. Untuk memberikan solusi praktis, penulis [4] mengusulkan skema heuristik dengan kompleksitas rendah di mana *femtocell* dan *macrocell* melakukan alokasi sumber daya secara kooperatif. Sedangkan penulis pada penelitian [5] menggunakan algoritma *pre-coders* dan *decoders* linier untuk meminimalkan jumlah *Mean Square Erro*r (MSE).

Pre-coders dan *decoders* yang dirancang menggunakan estimasi kanal yang dibantu sinyal pilot untuk meningkatkan keakuratan informasi status kanal.

Pada tesis ini, penulis akan melakukan manajemen interferensi pada jaringan *femtocell-macrocell* untuk transmisi *uplink* berbasis *Single Carrier Frequency Division Multiple* Access (*SC-FDMA*) khususnya area perbatasan sel (*cell-edge*) yang sering mengalami interferensi yang buruk. Teknik yang akan digunakan untuk manajemen interferensi pada tesis ini adalah metode alokasi sumber daya radio dinamis dan *relay-based clustering*. Pada metode alokasi sumber daya radio dinamis, *femtocell* menggunakan sumber daya radio *macrocell* tetangga dengan mempertimbangkan nilai interferensi terkecil dari pengguna yang tersebar di dalam *macrocell* tetangga. Apabila *femtocell* yang pertama kali tumbuh memilih sumber daya radio baik dari macrocell 2 atau 3 (dengan asumsi menggunakan *layout* 3 *macrocell*), maka *femtocell* yang berdekatan jaraknya tidak boleh menggunakan sumber daya radio yang sama, sehingga *femtocell* dikelompokkan berdasarkan sumber daya radio yang berbeda dari yang pertama dipilihnya. Sedangkan, pada metode *relay-based clustering*, untuk pengguna yang berada di sisi sel akan disebarkan simpul *relay* (*relay node*) secara tetap. *Relay node* akan merekrut anggota kelompoknya berdasarkan jarak terdekat. Kemudian eNB akan mengalokasikan sumber daya radio terhadap pengguna dengan mempertimbangkan *Signal-to-Interference plus Noise Ratio* (SINR) yang memenuhi kriteria tertentu. Dengan demikian, anggota kelompok pada *relay node* tertentu tidak perlu memancarkan daya yang besar ke eNB, sehingga interferensi yang terjadi pada pengguna yang berada di sisi sel dapat diminimalisir.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis interferensi yang terjadi pada jaringan *femtocell-macrocell* khususnya *femtocell* yang berada di sisi sel saat transmisi *uplink* (jaringan UDN);
2. Menyelesaikan permasalahan interferensi pada jaringan UDN dengan metode alokasi sumber daya radio dinamis, metode *relay-based clustering*, dan metode gabungan.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan motivasi bagi para akademisi serta operator jaringan seluler untuk berinovasi dalam meningkatkan kualitas sinyal bagi *femtocell* yang berada pada area sisi sel dari *macrocell*;
2. Dapat dijadikan referensi untuk untuk memahami permasalahan intereferensi pada transmisi *uplink* di jaringan UDN.

1.4. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membuat skenario penelitian untuk disimulasikan pada *software* MATLAB;
2. Parameter apa sajakah yang dibutuhkan untuk mensimulasikan skenario yang telah ditetapkan;

3. Bagaimana merancang algoritma untuk menerapkan metode alokasi sumber daya radio dinamis dan *relay based clustering,*

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian adalah:

1. Skenario simulasi pada penelitian yang dilakukan menggunakan tiga buah *macrocell* yang di dalamnya terdapat 200 *femtocell*. Semua *femtocell* berada di dalam ruangan (*indoor*);
2. Interferensi yang diperhitungkan ketika pengguna berada pada sisi sel pada area macrocell saat transmisi *uplink*;
3. Analisis berdasarkan tipe inteferensi *cross-tier* dan *co-tier*;
4. Diasumsikan *macrocell* memiliki faktor pengulangan frekuensi tiga (*frequency reuse factor* = 3);
5. Tidak memperhitungkan *user* yang bergerak antara *macrocell* dan *femtocell;*
6. Analisis SINR dilakukan pada *macrocell*-1 saja (pada *layout* jaringan 3 *macrocell*), sedangkan *macrocell*-2 dan *macrocell*-3 tidak dilakukan.

1.6 Hipotesis Penelitian

Femtocell yang berada di sisi sel mengalami kinerja yang sangat menurun akibat interferensi yang buruk dari pengguna yang berada di sisi sel dari *macrocell* tetangga. Permasalahan inteferensi yang sangat buruk terutama pada *femtocell* yang berada di area sisi sel dapat dikurangi dengan metode alokasi sumber daya dinamis, metode *relay-based clustering,* dan metode gabungan dari alokasi sumber daya dinamis dan

relay-based clustering. Pengurangan efek interferensi dengan berdasarkan kedua metode tersebut dapat dijelaskan berikut ini. Pada metode alokasi sumber daya radio dinamis, *femtocell* menggunakan sumber daya radio *macrocell* tetangga dengan mempertimbangkan nilai interferensi terkecil dari pengguna yang tersebar di dalam *macrocell* tetangga. Sedangkan, pada metode *relay-based clustering*, untuk pengguna yang berada di sisi sel akan disebarkan *relay node* secara tetap. *Relay node* akan merekrut anggota kelompoknya berdasarkan jarak terdekat, sehingga daya pancar dari pengguna (interferensi *cross-tier*) pada sisi sel dari *macrocell* tetangga akan dikurangi. Kemudian, diharapkan dengan menerapkan metode gabungan kinerja *femtocell* yang ada di sisi sel lebih baik lagi dibandingkan sebelum diterapkan metode apapun.

1.7 Sistematika Penulisan

Penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian, tujuan penelitian, manfaat yang diperoleh ketika melakukan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat studi literatur dari beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang berhubungan dengan topik yang dibahas pada

penelitian ini. Selain itu juga, pada bab ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan penelitian, seperti pemodelan sistem, penentuan parameter simulasi yang digunakan, dan perhitungan analisis sistem.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil simulasi yang telah dilakukan dan pembahasan berupa analisis hasil simulasi tersebut.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang simpulan dari hasil penelitian berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dan analisis pembahasan yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Selain itu juga, bab ini memuat saran-saran untuk mengembangkan penelitian ini agar lebih baik lagi.

BAB II

TINJAUAN PUSAKA

2.1 Kajian Pustaka Pada Penelitian Yang Berkaitan

Pelaksanaan penelitian pada tesis ini tentunya harus menyertakan penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan ada sebelumnya, dengan melakukan studi literatur mengenai manajemen interferensi dalam jaringan *macrocell-femtocell* dalam berbagai metode.

Penelitian [4] dengan judul "*Uplink Resource Allocation for Interference Mitigation in Two-Tier Femtocell Networks*" membahas tentang jaringan *femtocell two-tier* yang tersebar dalam wilayah *macrocell* yang tumpang tindih (*overlapping*). Ketika *Mobile station* (MS) makro melakukan transmisi uplink kearah eNB, maka terjadi interferensi yang tinggi pada *femtocell* yang berdekatan. Dengan demikian menyebabkan penurunan kinerja pada *femtocell*. Untuk mengatasi masalah ini, peneliti pada [4] mengusulkan dua skema alokasi sumber daya radio yaitu skema optimasi dan *heuristic*. Pada kasus pemanfaatan sumber daya radio (λ_k *(t)*) *uplink* makro BS saat 0,4; menghasilkan peningkatan kapasitas melebihi skema acak di mana slot waktu dialokasikan secara acak. Ketika pemanfaatan sumber daya (λ_k (t)) *uplink femto* BS meningkat, maka jumlah interferensi pada transmisi *uplink* juga meningkat. Akibatnya,

jumlah peningkatan kapasitas oleh skema yang diusulkan turun dari 41% menjadi 4% karena *gain* penjadwalan menurun. Ketika pemanfaatan sumber daya radio *femto* BS mencapai maksimum ($\lambda_k(t) = 1$), maka *gain* dari skema yang diusulkan minimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua skema yang diusulkan dapat meningkatkan kapasitas rata-rata *femtocell*, tetapi skema *heuristic* mengungguli skema optimasi dalam hal kompleksitas komputasi.

Penelitian [6] dengan judul "*A Fair Cluster-based Resource and Power Allocation Scheme for Two-tier LTE Femtocell*" mengusulkan pendekatan *power control* dan alokasi sumber daya radio yang tersebar pada jaringan *femtocell* dan *macrocell* yang dinamakan dengan *Two-tier Cluster-based Resource and Power Allocation Scheme* (TCRPA). Penelitian ini untuk mengurangi interferensi pada pengguna yang berada di dalam ruangan saat melakukan komunikasi *downlink*. Pertama-tama peneliti merumuskan masalah optimasi dengan rumus Mixed-Integer Linear Programme (MILP): meminimalkan daya pancar *femtocell* dan memaksimalkan alokasi sumber daya terkait *threshold* SINR. Efektifitas penelitian ini ditunjukkan dengan menggunakan topologi perkotaan yang cukup padat. Kemudian, peneliti menyediakan skema *semi-centralized*. Skema yang diusulkan TCRPA didasarkan pada *clustering*, yang bertujuan untuk mengambil keuntungan dari pendekatan terpusat dan terdistribusi. Skema TCRPA mampu menghasilkan rata-rata SINR sebesar 29,48 dB yang berarti bahwa level sinyal yang diperoleh baik. Namun, jika menggunakan dua skema RPA yang lainnya, SINR yang diperoleh negatif yang mengacu pada kualitas sinyal yang buruk. Maka dari hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan bahwa

TCRPA dapat mengalokasikan daya secara efisien dan mendistribusikan sumber daya spektrum secara adil ke *femtocell user* (FU) tanpa mempengaruhi kualitas komunikasi *microcell* users (MU).

Penelitian [7] dengan judul ”*Clustering and Resource Allocation for Dense Femtocells in a Two-Tier Cellular OFDMA Network*” mengusulkan manajemen interferensi *semi-distributed* (hierarkis) berbasis *clustering* dan alokasi sumber daya. Penelitian ini merumuskan masalah *joint clustering*, *sub-channel*, dan alokasi daya sebagai masalah optimasi. Masalah ini tidak dapat diselesaikan dengan entitas pusat seperti *femto gateway* (FGW). Tugas dibagi antara FGW dan *femtocell access point* (FAP) dengan cara hierarki semi-terdistribusi. FGW bertanggung jawab atas masalah *clustering*. Setelah FAP dibagi menjadi beberapa *cluster* (grup terpisah), satu FAP pada setiap *cluster* dipilih sebagai *cluster head* (CH) dan melakukan *sub-channel* dan alokasi daya. Selain itu pendekatan lain juga disulkan seperti *clustering* korelasi dan istilah pinalti. Karena masalah pengelompokan korelasi merupakan masalah NP-hard, maka diselesaikan dengan *semi-definite program* (SDP). SDP dianggap sebagai relaksasi untuk program linier integer (ILP), di mana solusi integer untuk masalah SDP dapat dipulihkan melalui pembulatan acak. Dengan menggunakan istilah penalti yang memiliki kisaran yang telah ditentukan maka diperoleh konfigurasi *cluster* yang berbeda.

Setelah FAP dikelompokkan secara terpisah, setiap CH melakukan *sub-channel* dan alokasi daya di dalam *cluster*-nya. *Sub-channel* bersama dan alokasi daya dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama alokasi *sub-channel* dilakukan, kemudian melakukan

alokasi daya. *Sub-channel* dan alokasi daya yang dilakukan menghasilkan konfigurasi dengan kecepatan yang tinggi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema *clustering* yang diusulkan mampu meningkatan kinerja sistem dibanding dengan skema terkait lainnya. Skema *clustering* korelasi yang diusulkan juga menghasilkan kinerja yang optimal dengan kompleksitas yang rendah.

Penelitian [8] dengan judul ”*Clustering-based interference management in densely deployed femtocell networks*” didasarkan pada *femtocell* yang tersebar secara padat di daerah perkotaan yang menimbulkan gangguan *intra-tier* dan *cross-tier*. Peneliti menyajikan skema manajemen interferensi berbasis *clustering* dan alokasi sumber daya radio untuk jaringan *femtocell* berbasis *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDM) *two-tier*. *Femtocell* diletakkan di dalam ruangan. Skenario ini hanya memfokuskan transmisi *downlink* berbasis OFDMA, di mana struktur *frame*-nya dapat dilihat sebagai blok sumber daya frekuensi waktu. Untuk kasus yang sederhana, peneliti hanya menempatkan satu FU pada setiap *femtocell*. Dalam kasus yang demikian, maka propagasi kanal antara *femtocell user equipment* (FUE) dan FAP dalam kondisi yang baik. Namun, sinyal yang diterima dari *macrocell* yang berada di luar ruangan dilemahkan. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan jumlah *throughput femtocell user* (FUs) dengan mempertimbangan interferensi *intra-tier* dan mengendalikan interferensi pada *macrocell user* (MUs). Ada dua tahap untuk mengatasi formula ini yaitu *clustering* dan alokasi sumber daya. Pada tahap *clustering*, dua *femtocell* yang mengalami interferensi yang kuat dikelompokkan dalam satu *cluster*. *Femtocell* dalam *cluster* yang sama menggunakan *sub-channel* yang berbeda

agar interferensi *intra-tier* berkurang. Kemudian pada setiap *cluster* dipilih satu *femtocell* sebagai *cluster center* (CC) untuk melakukan alokasi *sub-channel* dan alokasi daya. Peneliti mengusulkan dua metode dalam mengatasi alokasi daya: alokasi *sub-channel* dan distribusi daya. Prosedur alokasi *sub-channel* bertujuan agar dapat memenuhi persyaratan laju dari semua FU dan algoritma alokasi daya agar dapat mencapai nilai optimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema yang disajikan dapat meningkatkan *throughput* FU dengan kompleksitas yang dapat diterima.

Penelitian [9] dengan judul "*Mobile Relay Node in Public Transportation for Serving Outside LTE Cell Edge Users*" bertujuan untuk meningkatkan kualitas sinyal *user* yang berada di luar kendaraan dan di tepi sel. Dalam forum standar 3GPP *LTE-Advanced*, *Mobile Relay Node* (MRN) merupakan hal yang penting untuk mengatasi masalah daya sinyal yang buruk pada pengguna yang berada di tepi sel. Untuk meningkatkan kualitas sinyal dan cakupan jaringan di tepi sel diusulkan menggunakan *Mobile Relay Node* (MRN). Dalam artikel tersebut, peneliti [9] mengusulkan untuk menerapkan MRN yang diletakkan di atas transportasi umum yang memiliki kecepatan rendah untuk melayani pengguna yang berada di luar kendaraan. *Mobile relay* dapat mengurangi biaya dan kesesuaian untuk berbagai permintaan koneksi jaringan, terutama ketika mengeksploitasi ketersediaan kendaraan transportasi umum di jalan-jalan pada kecepatan yang relatif rendah. Setiap kendaraan MRN mengetahui letak posisi *x* dan *y*, dan menyiarkan *beacon* secara periodik yang mencakup posisi, kecepatan, arah dan stempel waktu. Informasi ini dapat membuat UE mengetahui apakah MRN bergerak ke arahnya atau menjauh. Dalam kasus ini pertimbangkan dua metrik *user equipment*

(UE) untuk memilih MRN yang paling cocok, pertama adalah *signal-to-noise ratio* (SNR) di UE dan waktu koneksi yang diharapkan. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini UE dapat memilih MRN yang sesuai dengan layanan jaringan seluler berkualitas tinggi.

Penelitian [10] dengan judul "*Resource allocation with interference mitigation in OFDMA femtocells for co-channel deployment*" menyelediki masalah alokasi sumber daya *uplink* dari *femtocell* yang tersebar di dalam *macrocell*. Desain yang dilakukan pertama kali dengan memodelkan daya *uplink* dan alokasi *sub-chanel femtocell* sebagai *game non-cooperative*. Inteferensi *inter-cell* menjadi pertimbangan untuk memaksimalkan kapasitas *femtocell* dan interferensi *uplink* dari *femto* ke *macro* dikurangi dengan membebankan setiap *user femto* sebanding dengan interferensi yang timbul dari *macrocell*. Berdasarkan *game non-cooperative*, peneliti merancang algoritma semi-terdistribusi untuk setiap *femtocell*. Pertama, peneliti [10] menetapkan *sub-channel user femto* dan kemudian mengalokasikan daya ke *sub-channel* yang sesuai. Perbandingan simulasi penetapan *sub-channel* dengan algoritma alokasi daya berbasis *modified iterative water filling* (MIWF) menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan mampu memberikan peningkatan kapasitas tidak hanya untuk *femtocell* tetapi juga *macrocell*.

Penulis pada penelitian [11] dengan judul "*Interference Alignment for Transceiver Design in Multi-user MIMO Relay System*" mengusulkan desain *transceiver* untuk *macrocell user equipments* (CE-MUE) dan *node relay amplify-and-forward* (A-F) untuk menangani kasus interferensi informasi status kanal. Sistem *relay multiple-input*

multiple-output (MUMIMO) yang digunakan pada *macrocell* dan *femtocell* memiliki banyak keuntungan seperti pembagian alokasi sumber daya yang adil, cakupan yang optimal, dan efisiensi spektral. Terlepas dari kelebihan ini, manajemen interferensi tetap menjadi tantangan utama khususnya *user* yang berada ditepi sel (CE). Penelitian ini menyajikan rancangan *transceiver* linier untuk CE-*macrocell user equipments* (CE-MUE) dan *Relay Node* (RN) dalam sistem MIMO *half duplex*. Penting untuk dicatat bahwa CE-MUE dan *macrocell* BS (MBS) dapat diabaikan karena jaraknya yang jauh. Oleh karena itu, penelitian ini hanya mempertimbangkan transmisi melalui RN. Masalah minimalisasi objektif diformulasikan sebagai jumlah MSE yang mengikuti batasan daya pancar RN dan kriteria MMSE berbasis CE-MUE. Selanjutnya, fungsi pengali *Lagrange* dan kondisi *Karush-Kuhn-Tucker* (KKT) digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi jumlah MSE dan diperbarui secara berulang ketika mendesain *transceiver*. Untuk meminimalkan nilai MSE maka digunakan rancangan RN *pre-coder* dengan pendekatan *interference alignment* (IA). Hal ini dapat menjaga hubungan komunikasi antara CE-MUE dan MBS serta menghilangkan interferensi multi-user. Pendekan IA yang diusulkan mampu memberikan stategi umum untuk mendesain *transceiver* linier secara bersamaan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah optimasi *transceiver* berbasis MSE adalah kasus khusus dari pendekatan yang diusulkan. Dibandingkan dengan solusi konvensional, hasil simulasi skema IA yang diusulkan menunjukkan peningkatan kinerja sistem dalam hal jumlah rata-rata.

Penelitian [12] dengan judul "*Network Capacity Optimation in Milimetre Wave Band Using FFR*" menggunakan teknik *fractional frequency reuse* (FFR) sebagai teknik

manajemen interferensi pada jaringan UDN. *Bandwidth* yang digunakan pada *outer cell* dan *inner cell* dibedakan, agar interferensi yang terjadi bagi pengguna yang berada di sisi sel dapat berkurang. Secara umum, skema FFR bergantung pada jarak antara pengguna dan *base station* untuk menilai apakah pengguna terletak di zona dalam atau zona luar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa teknik FFR mampu meningkatkan nilai *throughput* bagi pengguna yang berada di sisi sel.

Penelitian [13] dengan judul "*Inter-Femtocell Interference Identification and Resource Management*" melakukan manajemen interferensi untuk mengurangi interferensi *inter-femtocell* dengan metode identifikasi interferensi. Penelitian ini menghasilkan pola-pola yang diterima pada *mobile station* (MS) menggunakan *software* USRP. Selanjutnya, pola-pola ini dikumpulkan di pengontrol pusat, kemudian interferensi di identifikasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mampu meningkatkan *throughput* 20,64%.

Penelitian [14] dengan judul "*A Self-Organized Dynamic Resource Allocation Scheme Using Enhanced Fractional Frequency Reuse in LTE-Advanced Relay Based Networks*" mengusulkan teknik alokasi sumber daya radio dinamis untuk mengurangi interferensi *co-tier* dan *cross-tier*. Skema ini secara dinamis mengalokasikan frekuensi dan daya ke wilayah dalam dan luar dalam jaringan LTE berbasis *relay*. Hasil simulasi menunjukkan CDF SINR sebesar 20 dB mencapai 98% pada radius 0,5 km.

Penelitian [15] dengan judul "*Dynamic resource allocation in mobile heterogeneous cellular networks*" mempertimbangkan jaringan two-tier berbasis OFDMA dengan

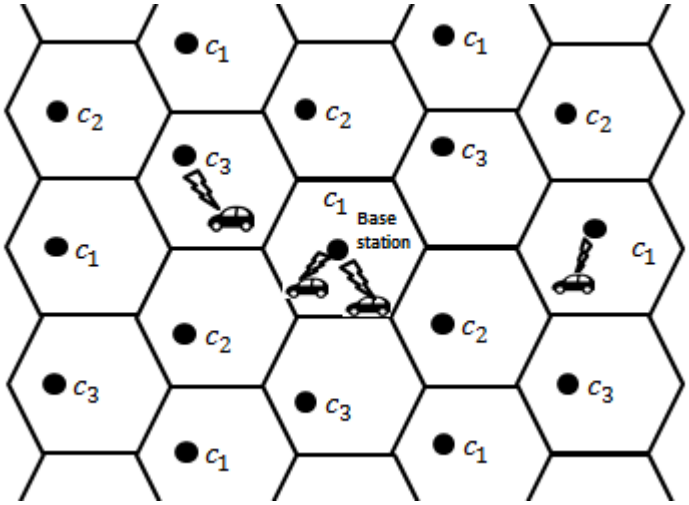
satu *macrocell* dan beberapa *femtocell*, dimana setiap pengguna *macrocell* atau *femtocell* dapat meninggalkan atau memasuki sel yang melayaninya. Penelitian ini mengusulkan algoritma alokasi sumber daya dinamis untuk jaringan heterogen. Penulis juga mempertimbangkan mobilitas pengguna *macrocell* dan *femtocell* dalam algoritma yang disebut IWCA (Interference-Weighted Clustering Algorithm) dan algoritma pembagian spektrum. Hasil simulasi menunujukkan bahwa metode yang diusulkan tidak hanya meningkatakan *throughput*, tetapi dapat mengurangi *outage probability* pada pengguna *femtocell*.

2.2 Konsep Seluler

Jaringan seluler adalah jaringan komunikasi data dan suara yang berkecepatan dan berkapasitas tinggi dengan kemampuan *roaming* tanpa batas untuk mendukung perangkat seluler. Dengan meningkatnya popularitas perangkat seluler, maka penggunaan jaringan ini tidak hanya digunakan sekedar hiburan dan panggilan telepon saja, melainkan digunakan juga sebagai sarana komunikasi utama untuk transaksi bisnis, keadaan darurat, dan layanan kehidupan "*mission-critical*" seperti E-911 [16].
Konsep dasar sistem seluler adalah memanfaatkan daya yang rendah dengan jarak propagasi sinyal untuk menggunakan kembali kanal yang sama di lokasi yang terpisah secara spasial. Secara khusus, sistem seluler pada area spasial tertentu di bagi menjadi sel yang tidak saling tumpang tindih *(non-overlapping*), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Setiap sel diberikan sekumpulan kanal, kemudian kanal tersebut dapat digunakan kembali pada sel yang berbeda. Penggunaan kembali kanal ini disebut *frequency reuse*. Sel yang diberikan sekumpulan kanal yang sama, harus diberikan

jarak yang cukup jauh sehingga interferensi antar-pengguna dalam sel tidak menurunkan kualitas sinyal. Jarak yang diperlukan tergantung pada teknik kanalisasi, karakteristik propagasi sinyal, dan kinerja yang diiginkan untuk setiap pengguna.

Pada sistem seluler yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, *base station* diletakkan di pusat sel. Di bawah kondisi propagasi yang ideal, *mobile station* (MS) dalam sel tertentu berkomunikasi dengan *base station*, meskipun pada praktiknya pilihan didasarkan pada SINR antara MS dan *base station*. Saat MS bergerak di antara dua sel, maka panggilan harus dialihkan dari *base station* di sel asli ke *base station* di sel baru.



Gambar 2.1 Sistem Seluler [17]

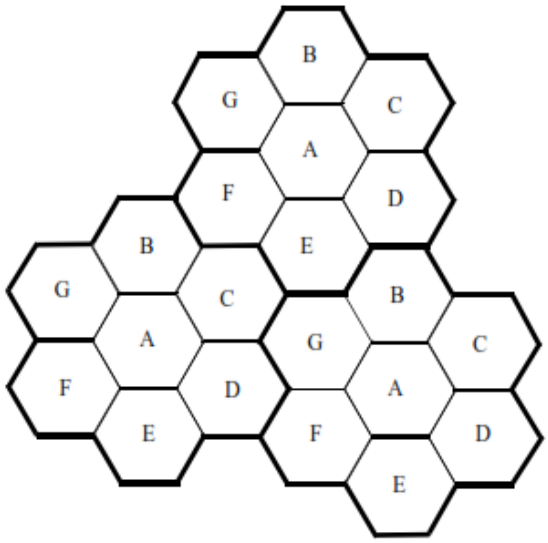
Kanal dari *base station* ke MS di dalam sel disebut dengan kanal *downlink*, sedangkan kanal dari MS ke *base station* disebut dengan kanal *uplink*. Semua *base station* di wilayah tertentu terhubung ke kantor switching telepon seluler, yang bertindak sebagai pengontrol pusat. Otentikasi pengguna, alokasi kanal, dan *handoff* antara base station dikoordinasikan oleh kantor switching. *Handoff* dimulai ketika kualitas sinyal MS ke

base station menurun di bawah ambang batas yang ditentukan. Hal ini terjadi ketika MS bergerak di antara sel dan juga disebabkan *fading* dan *shadowing* di antara sel. Jika tidak ada *base station* tetangga yang memiliki kanal yang tersedia dengan kualitas yang dapat diterima, maka upaya *handoff* gagal dan panggilan akan dibatalkan [17].

2.3 *Frequency Reuse*

Frequency reuse adalah penggunaan kembali frekuensi yang telah digunakan pada sebuah sel ke sel lainnya. Setiap *base station* seluler dialokasikan sekumpulan kanal radio untuk digunakan dalam area geografis yang kecil. *Base station* di sel yang berdekatan dikelompokkan dengan kanal yang berbeda dari sel tetangga. Antena *base station* dirancang untuk mencapai cakupan yang diinginkan dalam sel tertentu. Dengan membatasi area cakupan ke dalam batas-batas sel, kelompok kanal yang sama dapat digunakan untuk digunakan oleh sel berbeda yang dipisahkan satu sama lain dengan jarak yang cukup jauh untuk menjaga tingkat interferensi dalam batas yang dapat ditoleransi. Proses desain untuk memilih dan mengalokasikan kelompok kanal untuk semua *base station* seluler dalam sistem disebut *frequency reuse* atau *frequency planning.*

Gambar 2.2 mengilustrasikan penggunaan kembai frekuensi seluler, di mana sel dengan label huruf yang sama menandakan kelompok yang menggunakan kanal yang sama.



Gambar 2.2 Ilustrasi Konsep *Frequency Reuse* [18]

Sebuah *cluster* sel diberi garis tebal dan direplikasi di seluruh area cakupan. Pada Gambar 2.2 ukuran *cluster N* sama dengan tujuh, dan faktor *frequency reuse* adalah 1/7 karena setiap sel berisi sepertujuh dari jumlah total kanal yang tersedia.

2.4 *Ultra Dense Networks* (UDN)

Ultra Dense Networks (UDN) dapat didefinisikan sebagai jaringan yang memiliki jumlah sel yang banyak dibandingkan dengan *user*. Dengan kata lain, $\lambda_b \gg \lambda_u$, di mana λ_b adalah kepadatan *access point* dan λ_u adalah kepadatan *user*. Menurut penulis pada penelitian [19], sebuah jaringan dikatakan jaringan UDN apabila ukuran kuantitatif kepadatan jaringan yaitu $\geq 10^3 cells/km^2$. Umumnya, sel kecil di UDN dapat diklasifikasikan menjadi *Base Station* (BS) yang berfungsi penuh (*picocell* dan *femtocell*) dan *access points* ekstensi makro (*relays* dan *Remote Radio Heads* (RRHs)).

BS yang berfungsi penuh mampu melakukan semua fungsi sel makro dengan daya yang lebih rendah di area cakupan yang lebih kecil. Tabel 2.1 merangkum fitur dari berbagai jenis *small cells*

Tabel 2.1 Berbagai Jenis *Small Cells* [19]

Jenis Smal Cell	Skenario Penyebaran	Cakupan	Daya	Skenario Akses	Backhaul
Picocell (fully-functioning)	*Indoor/outdoor (planned)*	≥ 100 m	*Indoor* (≤ 100 mW) Outdoor (0.25-2 W)	*Open Access*	*ideal*
Femtocell(fully-functioning)	*Indoor (unplanned)*	10 – 30 m	≤100 mW	*Open/Closed/Hybrid Access*	*Non-Ideal*
Relays (macro-extension)	*Indoor/outdoor (planned)*	≥ 100 m	*Indoor* (≤ 100 mW) Outdoor(0.25-2 W)	*Open Access*	*Wireless (in-band/out-of-band)*
RRHs (macro-extension)	*outdoor (planned)*	≥ 100 m	*Outdoor*(0.25-2 W)	*Open Access*	*Ideal*

2.4.1 Manajemen Interferensi pada *Ultra Densed Networks* (UDN)

Meskipun UDN memiliki prospek pengembangan yang baik pada teknologi 5G, tetapi masih terdapat tantangan teknis yang perlu diselesaikan. Penggunaan sumber daya spasial yang berlebihan namun ketersedian sumber daya spektrum yang terbatas dan infrastruktur jaringan yang tidak teratur maka mengakibatkan terjadinya interferensi. Pada sub bab ini akan dibahas mengenai teknik manajemen interferensi pada UDN yang diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu [20]:

a. *Interference Avoidance*

Prinsip dari teknik ini adalah untuk mempartisi sumber daya yang tersedia menjadi proporsi ortogonal dalam dimensi waktu, frekuensi, ruang, daya, dan kode. *Orthogonal*

frequency division multiple access (OFDMA) adalah metode penghindaran interferensi yang paling khas yang diadopsi oleh sistem komunikasi *long-term evolution* (LTE).

b. *Interference Cancellation*

Dalam menerapkan teknik *interference cancellation*, hal pertama yang dilakukan adalah membangun kembali sinyal interferensi melalui estimasi kanal dan demodulasi/decoding. Setelah itu, sinyal interferensi dihapus dari sinyal *aliasing* dalam pola yang berurutan atau paralel sebelum sinyal yang diinginkan diambil.

c. *Interference Coordination*

Ide dasar dari *interference coordination* adalah mengkoordinasikan beberapa *Tx* untuk mengurangi interferensi timbal balik pada *Rx*, misalnya dengan menggunakan CoMP dalam sistem seluler *downlink*, eNodeB di sel yang berdekatan secara bersama-sama mengurangi interferensi dengan menerapkan *pre coder zero forcing* ke kanal interferensi mereka. Targetnya adalah untuk memaksa sinyal yang diinginkan yang diterima di *downlink* agar berada di ruang kosong.

Tabel 2.2 Gambaran Teknik Manajemen Interferensi

Teknik Manajemen Interferensi	**Kategori**	**Apakah akan mengatasi masalah di UDN?**			
		Intereferensi yang luar biasa	**Kanal yang Terkait**	**Tingkat interferensi yang dipersempit**	**Overhead berlebihan**
Power Kontrol konvensional	*Interference Avoidance*	x	✓	✓	X
Metode Mutliple Akses (CDMA/TDMA/ OFDMA)		x	✓	✓	✓
Successive interference cancellation	*Interference Cancellation*	x	x	X	✓
Parallel interference cancellation	*Interference Cancellation*	x	x	X	✓
Interference alignment	*Interference Coordination*	✓	x	✓	X
Coordinated multi-point		✓	x	✓	✓
AOF power control	*Interference Avoidance*	✓	✓	✓	✓

2.5 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) adalah teknik modulasi dan akses yang menggabungkan teknologi *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). Dalam OFDMA, sinyal pertama kali dibagi menjadi *sub-carrier* independen dan *sub-carrier* ortogonal yang jaraknya dekat digunakan untuk membawa data. Data tersebut dibagi menjadi beberapa *data stream* atau kanal secara paralel. OFDMA dapat meningkatkan efisiensi spektral dengan menghemat *bandwidth* yang ditetapkan sebesar 50%.

OFDMA memungkinkan alokasi sumber daya radio yang cepat dan *multiplexing multi-user* secara ortogonal dalam domain frekuensi. Sinyal *wide band* yang dihasilkan dari

sinyal *sub-carrier* domain frekuensi termodulasi menggunakan transformasi *Fast Fourier Transform* (FFT) [21].

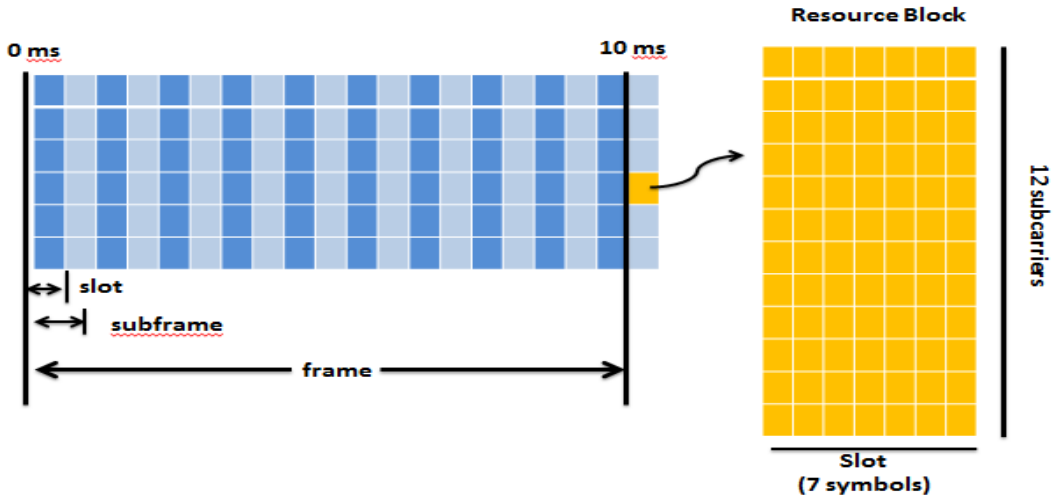
2.6 SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*)

SCFDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) merupakan bentuk modifikasi dari *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). SCFDMA adalah teknik yang menjanjikan untuk komunikasi *uplink* dengan kecepatan data tinggi dalam sistem seluler masa depan. SCFDMA pada dasarnya memiliki kinerja *throughput* dan kompleksitas yang sama dengan OFDMA. Keuntungan utama sistem SCFDMA adalah memilki *peak-to-average power ratio* (PAPR) yang lebih rendah dibandingkan dengan OFDMA. Pemancar dalam sistem SC-FDMA menggunakan frekuensi ortogonal yang berbeda (*sub-carrier*) untuk mengirimkan simbol informasi. Namun, mereka mengirimkan *subs-carrier* secara berurutan, bukan secara paralel. Pengaturan ini dapat mengurangi fluktuasi selubung dalam bentuk gelombang yang ditransmisikan [22].

2.7 *Resource Block*

Resource block (RB) adalah unit sumber daya terkecil yang dialokasikan untuk satu pengguna. Sebuah *resource block* memiliki lebar frekuensi 180 kHz dan satu slot dalam waktu. Dalam frekuensi, *resource block* terdiri dari 12 *subcarriers* x 15 kHz atau 24 subcarriers x 7,5 kHz. Jumlah *subcarriers* yang digunakan per RB untuk kanal dan sinyal adalah 12 *subscarriers*. Bagian terkecil dari *resource block* disebut *resource element* (RE).

Resolusi alokasi sumber daya adalah sekumpulan *subcarrier* yang berdekatan yang membentuk *Physical Resource Block* (PRB) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 PRB dijadwalkan dan dialokasikan secara fleksibel untuk *User Equipment* (UE) dalam *Flexible Frequency Domain Multiplexing* (*Flexible* - FDM) sehingga setiap PRB dapat dialokasikan ke UE dengan mudah [23].



Gambar 2.3 Frame FDD (*Frequency Division Duplex*) dengan bandwidth 1,4 MHz [23]

Dalam sistem LTE (*Long Term Evolution*) terdapat enam satuan waktu seperti *frame*, *half-frame*, *subframe*, *slot*, simbol, dan satuan waktu dasar (*Ts*), seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Satuan waktu dalam LTE [23]

Satuan Waktu	Nilai
Frame	10 ms
Half-frame	5 ms
Subframe	1 ms
Slot	0,5 ms
Simbol	(0,5 ms) / 7 untuk CP normal (0,5 ms) / 6 untuk CP diperpanjang
Ts	1/(15000 * 2048) sec » 32,6 ns

Unit frekuensi dapat dinyatakan dalam jumlah *subscarrier* atau *resource block,* sinyal *downlink* saat 5 MHz dapat digambarkan sebagai lebar 25 *resource block* atau lebar 301 *subscarrier* (*subscarrier* DC tidak termasuk dalam *resource block*). Bagian terkecil dari *resource block* disebut *resource element* (RE). *Resource element* memiliki 1 *subcarrier* x 1 simbol, bagian diskrit terkecil dari frame dan berisi satu nilai kompleks.

Dalam sistem LTE terdapat berbagai variasi *bandwidth* yang digunakan seperti 1, 4, 3, 5, 10, 15, and 20 MHz. Tabel 2.4 di bawah ini menunjukkan jumlah *subscarrier* dan *resource block* dalam setiap *bandwidth* untuk *uplink* dan *downlink*

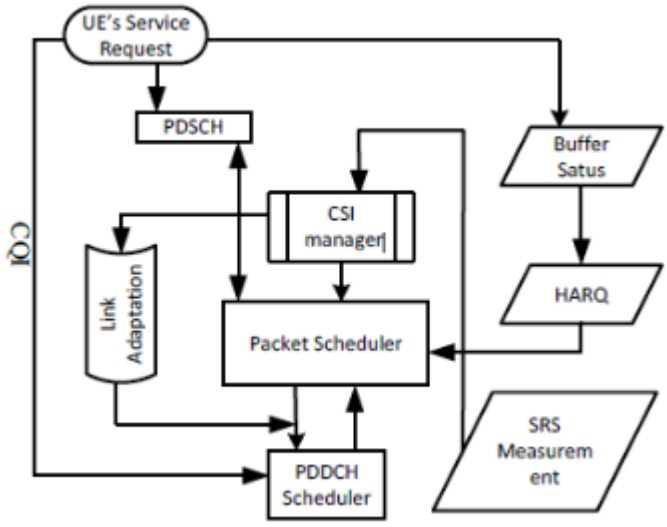
Tabel 2.4 *Resource block* dan *sub-carrier* pada *bandwidth* tertentu [23]

Bandwidth	***Resource Block***	***Sub-carriers* (*downlink*)**	***Sub-carriers* (*uplink*)**
1,4 MHz	6	73	72
3 MHz	15	181	180
5 MHz	25	301	300
10 MHz	50	601	600
15 Mhz	75	901	900
20 MHz	100	1201	1200

Sub-carrier DC untuk sinyal *downlink* tidak ditransmisikan, tetapi dihitung dalam jumlah *sub-carrier*. Sedangkan untuk sinyal *uplink, subcarrier* DC tidak ada karena seluruh frekuensi spektrum digeser ke bawah setengah dari jarak *subcarrier*.

2.8 Manajemen *Resource Allocation*

Dalam sistem LTE, sumber daya radio dibagi menjadi elemen waktu dan sumber daya frekuensi. Elemen sumber daya dalam sumbu waktu dibagi menjadi sejumlah simbol OFDM dan dalam sumbu frekuensi dibagi menjadi jumlah *sub-carrier*. Terdapat manajemen alokasi sumber daya di dalam beberapa literatur. Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok alokasi sumber daya secara umum. *Radio resource manager* (RRM) merupakan komponen utama untuk menjadwalkan alokasi sumber daya. Penjadwalan paket atau PDSCH (*Physical Downlink Shared Channel*) mengalokasikan sumber daya berdasarkan berbagai macam parameter, seperti kondisi kanal, status *buffer*, panjang antrian, kecepatan data rata-rata sebelumnya, keadilan, *delay*, dan lain-lain.



Gambar 2.4 Penjadwalan Alokasi Sumber Daya Secara Umum [24]

2.9 *Quality of Service* (QoS)

Quality of service (QoS) merupakan mekanisme untuk mengontrol kinerja, keandalan, dan kegunaan layanan telekomunikasi. QoS dibutuhkan untuk memberikan layanan yang lebih baik sehingga dapat memenuhi kebutuhan layanan . Berikut ini akan ditampilkan level pengukuran *untuk signal to interference plus noise ratio* (SINR) melalui tabel 2.5. Pada penelitian ini kami memilih nilai 20 dB sebagai target SINR, karena nilai SINR lebih dari 20 dB merupakan pengukuran sinyal yang sangat baik untuk sistem komunikasi seluler yang ditentukan oleh vendo[25].

Tabel 2.5 Level Pengukuran untuk SINR [25]

Nilai SINR (dB)	Keterangan
≥ 20 dB	Sangat Baik
13 to 20	Baik
0 to 13	Cukup Baik
≤ 0	Buruk

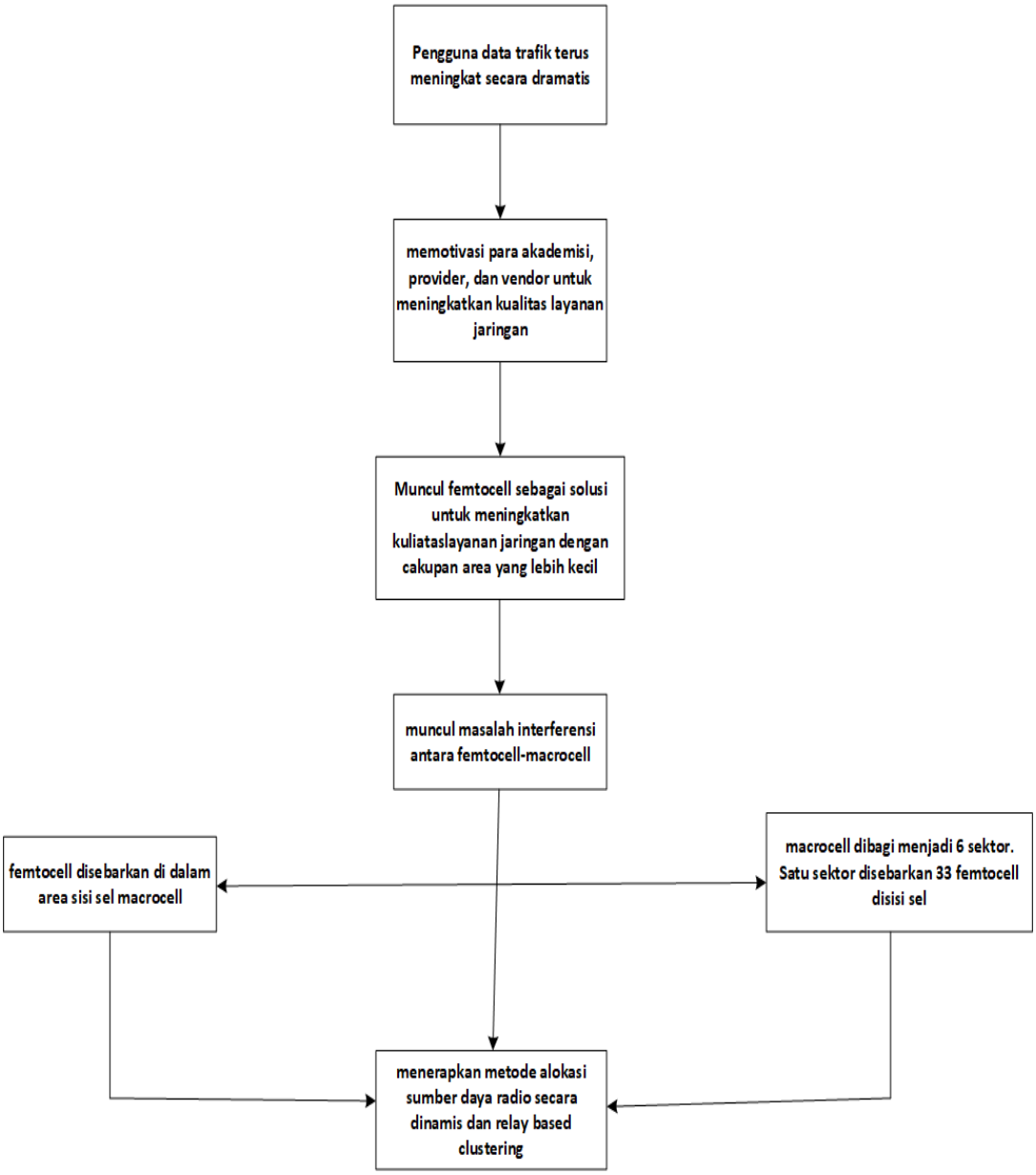
2.10 Kerangka Berfikir

Penggunaan trafik data terus meningkat membuat sejumlah kalangan baik dari para akademisi, penyedia layananan internet, dan industri yang bergerak dibidang telekomunikasi berlomba untuk meningkatkan kapasitas jaringan seluler. Salah satu cara sederhana untuk meningkatkan kapasitas jaringan seluler adalah dengan cara mengecilkan ukuran sel [4]. Ukuran sel yang kecil mampu melayani banyak pengguna dengan kecepatan data yang tinggi dan lebih efisien. Oleh karena itu, munculah *femtocell* sebagai salah satu kandidat yang memiliki cakupan sel yang sangat kecil [3]. *Femtocell* dianggap sebagai elemen kunci dalam menyediakan layanan yang berkualitas tinggi di area cakupan yang kecil seperti di rumah atau di kantor. Namun, pada kenyataannya *femtocell* yang tersebar di dalam area *macrocell* sering mengalami intereferensi karena *femtocell* berbagi sumber daya radio yang sama dengan *macrocell* yang ada di sebelahnya. Keadaan ini juga semakin memburuk, ketika *femtocell* yang berada di area sisi sel memperoleh interferensi dari pengguna *macrocell* yang juga

berada di area sisi sel [26]. Jarak antara pengguna *macrocell* dengan *femtocell* yang sangat dekat, membuat performansi dari femtocell sangat menurun. Untuk mengatasi hal yang demikian, maka pada penelitian ini akan dilakukan manajemen interferensi *femtocell-macrocell* pada jaringan UDN (*Ultra Dense Network*) menggunakan metode alokasi sumber daya radio secara dinamis dan *relay-based clustering*. Metode alokasi sumber daya radio secara dinamis merupakan metode dengan sasaran untuk mengurangi interferensi pada *femtocell* dengan cara pemilihan alokasi sumber daya *femtocell* berdasarkan nilai interferensi terendah dari *macrocell* tetangga. Sedangkan, metode *relay based clustering* merupakan metode dengan tujuan untuk mengurangi interferensi *cross-tier* yang berasal dari pengguna *macrocell* tetangga dengan cara meyebarkan *relay node* secara tetap di area *macrocell*.

Pada penelitiani ini akan dirancang beberapa skenario untuk memanajemen interferensi yang terjadi pada jaringan *femtocell-macrocell*. Skenario pertama, *femtocell* disebarkan secara acak diseluruh cakupan area sisi sel dari *macrocell*. Skenario pertama, *femtocell* disebarkan secara acak di seluruh area *macrocell* khususnya di area sisi sel. Diasumsikan pengguna *femtocell* (FUE) sedang melakukan transmisi *uplink* ke arah Home enhanced Node B (HeNB) dan pada saat yang bersamaan pengguna yang berada di area sisi sel *macrocell* tetangga juga sedang melakukan transmisi uplink ke arah eNB. Pada skenario kedua, *macrocell* 1 (untuk model multisel terdiri dari 3 *macrocell*) dibagi menjadi enam sektor. Setiap sektor disebarkan 33 *femtocell* dan skenario ini hanya memfokuskan analisis pada 2 sektor yang diberi nama sektor 1 dan 2. Sektor 1 letaknya berdekatan dengan sisi *macrocell* 3 dan sektor 2 letaknya berdekatan dengan

sisi *macrocell* 2. Diagaram kerangka berfikir pada tesis ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram Kerangka Berfikir

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu buah laptop
2. *Software* MATLAB

3.2 Metode Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, metode yang digunakan adalah pemodelan sistem dan simulasi. Adapun tahapan kerja untuk mencapai tujuan yang diharapkan adalah dijelaskan berikut ini.

Pada tahap pertama, penulis mempelajari materi yang berkaitan dengan penelitian. Materi diperoleh melalui berbagai referensi atau sumber-sumber ilmiah seperti jurnal, buku, dan website resmi yang berkaitan dengan penelitian meliputi:

1. Konsep seluler
2. Metode *Resource Allocation* dan *Clustering* pada jaringan seluler
3. *Node Relay* pada LTE *Advanced*
4. OFDMA dan SC-FDMA
5. Interferensi yang terjadi pada seluler
6. Perhitungan *Pathloss* dan SINR, *throughput*, BER.

3.2.1 Pemodelan Sistem

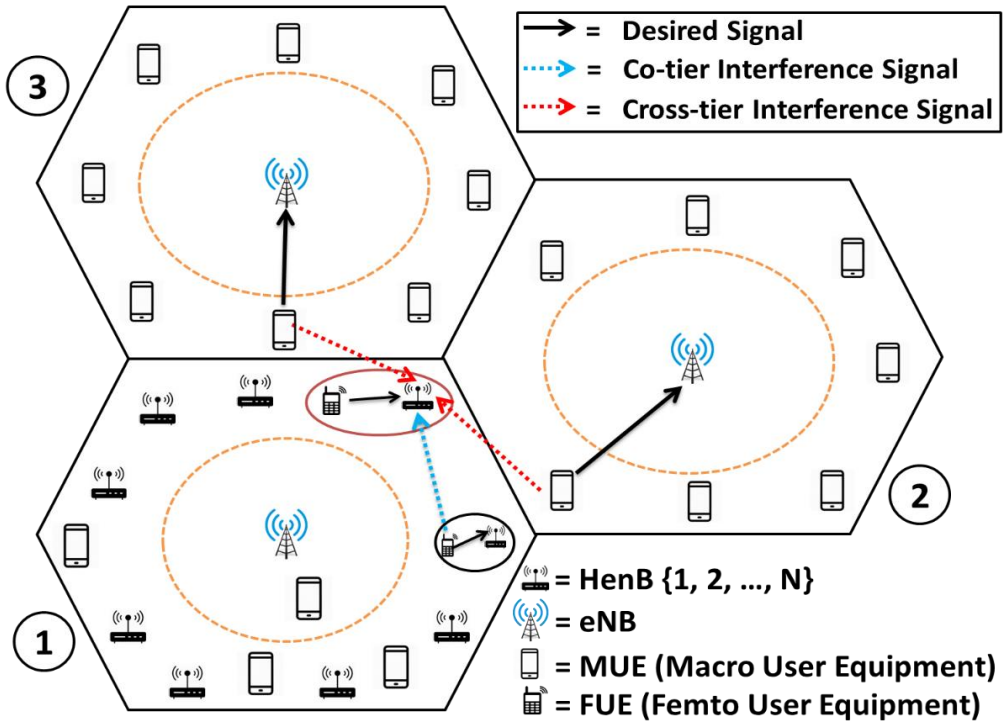
Setelah melakukan studi literatur, tahapan selanjutnya adalah memodelkan sistem yang akan dikerjakan. Kasus yang akan dikerjakan pada penelitian ini yaitu interferensi yang terjadi dengan asumsi sel-sel disebarkan pada wilayah perkotaan yang sangat padat yang menyebabkan turunnya kualitas layanan pada *femtocell*. Penulis mencoba meminimalkan nilai interferensi yang terjadi pada pengguna ketika melakukan transmisi *uplink* ke arah *Home enhanced Node B* (HeNB). HeNB dapat juga dikatakan sebagai *femtocell access point*.

3.2.1.1 Model Sistem Ketika *Femtocell* Tersebar di Seluruh Area Cakupan Sisi Sel dari *Macrocell*

Model sistem pada penelitian ini terdiri dari tiga buah sel dari jaringan seluler *macrocell* berbasis OFDMA. Masing-masing *macrocell* memiliki sumber daya radio frekuensi yang berbeda-beda (*frequency reuse factor* 3). Pada salah satu dari tiga *macrocell* disebarkan *femtocell* secara acak, khususnya di area cakupan sisi sel dari *macrocell*, sementara pada dua *macrocell* yang lain tidak ada *femtocell* yang disebarkan. *Femtocell* yang berada pada area cakupan *macrocell* diberikan kesempatan untuk menggunakan sumber daya radio yang sama dengan dua *macrocell* tetangga. Dari sistem model ini, maka akan mungkin terjadi interferensi dari *macrocell* tetangga ke *femtocell* atau yang disebut dengan interferensi *cross-tier*.

Penelitian ini mempertimbangkan transmisi *uplink* pada *macrocell* dan *femtocell*. Pada dua *macrocell* tetangga di dalamnya terdapat sejumlah *Macro User Equipmen* (MUE)

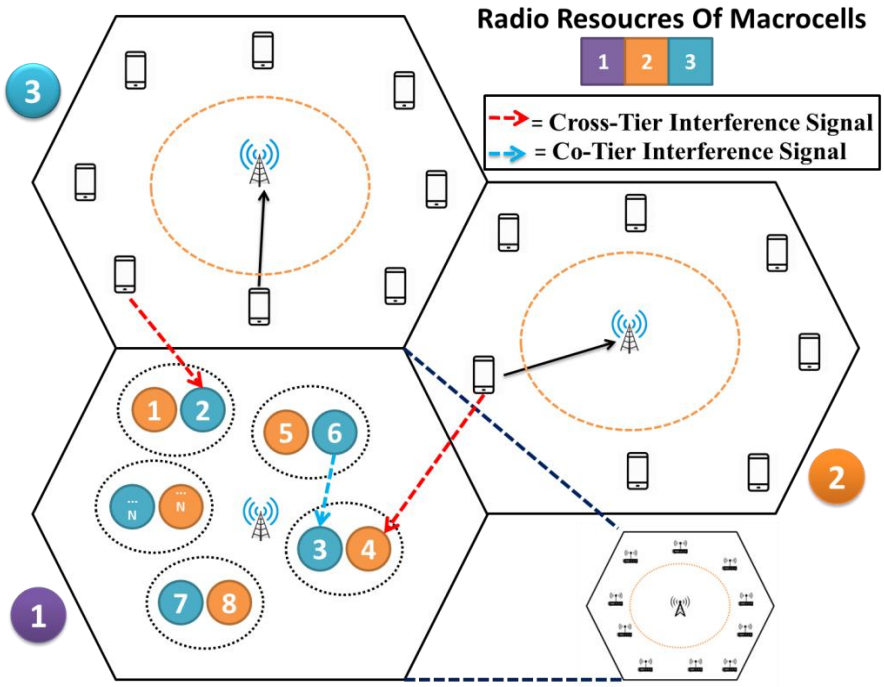
yang letaknya di area sisi sel. Ketika *Femto User Equipment* (FUE) yang berada di sisi sel melakukan transmisi *uplink* ke *Home enhanced Node B* (HeNB) dan pada saat yang sama MUE yang juga berada di sisi sel sedang melakukan transmisi *uplink* ke *enhanced Node B* (eNB). Oleh karena itu, HeNB mengalami sinyal interferensi *cross-tier* yang datang dari MUE karena MUE sedang berkomunikasi secara *uplink* dengan eNB pada sel makro tetangga. HeNB juga mengalami interferensi *co-tier* karena ada HeNB yang lainnya menggunakan sumber daya radio yang sama. Gambar 3.1 mengilustrasikan interferensi *co-tier* dan *cross-tier* seperti telah dijelaskan di atas. Pada tesis ini, Gambar 3.1 dapat juga dikatakan sebagai sistem konvensional atau skenario sistem yang tidak menggunakan metode apapun.



Gambar 3.1 Interferensi yang Terjadi pada *Femtocell* saat Transmisi *Uplink*

Pada model ini terdapat tiga metode yang akan dilakukan untuk mengatasi masalah interferensi yang telah dijelaskan diatas, yaitu:

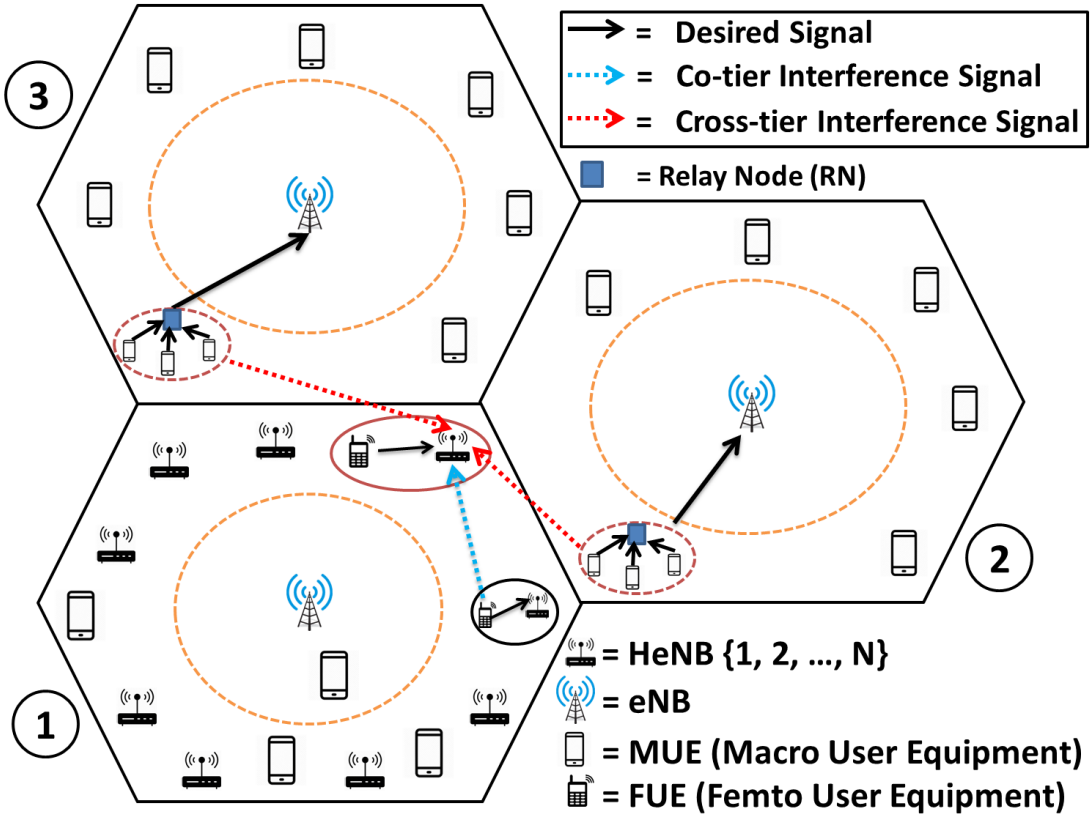
1. Metode pertama yang disebut sebagai alokasi sumber daya radio dinamis. Bagian ini akan menjelaskan rancangan metode alokasi sumber daya radio dinamis untuk manajemen interferensi *femtocell-macrocell* pada jaringan UDN seperti terlihat pada Gambar 3.2. Model sistem yang dirancang terdapat tiga buah *macrocell*, masing-masing memiliki sumber daya radio yang berbeda. Pada *macrocell* 1 tersebar 200 *femtocell* di area sisi sel, di mana sumber daya radio yang digunakan pada *femtocell* sama dengan *macrocell* 2 dan 3 (*radio resource sharing*). *Femtocell* memilih alokasi daya berdasarkan nilai interferensi terkecil dari *macrocell* tetangga. Seiring dengan pertumbuhan jumlah *fetmtocell*, apabila *femtocell* yang pertama telah dialokasikan sumber daya radionya, maka pertumbuhan *femtocell* berikutnya tidak dapat menggunakan sumber daya radio yang sama dengan yang sebelumnya. Sehingga *femtocell* yang memiliki sumber daya radio yang berbeda dikelompokkan (*clustering*) ke dalam satu kelompok tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. *Femtocell* yang menggunakan sumber daya radio yang sama dengan *macrocell* 2 digambarkan dengan lingkaran berwarna *orange*, sedangkan *femtocell* yang menggunakan sumber radio yang sama dengan *macrocell* 3 digambarkan dengan lingkaran berwarna biru. Dengan demikian, diharapkan kinerja sistem pada *femtocell* akan meningkat.



Gambar 3.2 Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis pada *Femtocell*

2. Metode kedua disebut sebagai metode *relay-based clustering* ditunjukkan pada Gambar 3.3. Diasumsikan *femtocell* tersebar secara acak di dalam area cakupan sisi sel dari *macrocell* sebanyak 200 *femtocell*. Terlihat pada Gambar 3.3, *Femto User Equipment* (FUE) yang berada di sisi sel masing-masing melakukan transmisi *uplink* ke arah *Home enhanced Node B* (HeNB). Di waktu yang bersamaan *Macro User Equipment* (MUE) yang juga berada di sisi sel sedang melakukan transmisi *uplink* ke eNodeB (eNB). Hal ini menyebabkan HeNB mengalami interferensi *cross-tier* akibat MUE pada *macrocell* tetangga karena berbagi sumber daya radio yang sama. Untuk mengatasi hal yang demikian, pada masing-masing macrocell tetangga disebarkan *relay node* pada posisi yang tetap. *Relay node* akan merekrut anggotanya berdasarkan jarak terdekat antara pengguna dan *relay node*. Dengan demikian, anggota kelompok pada *relay node* tertentu

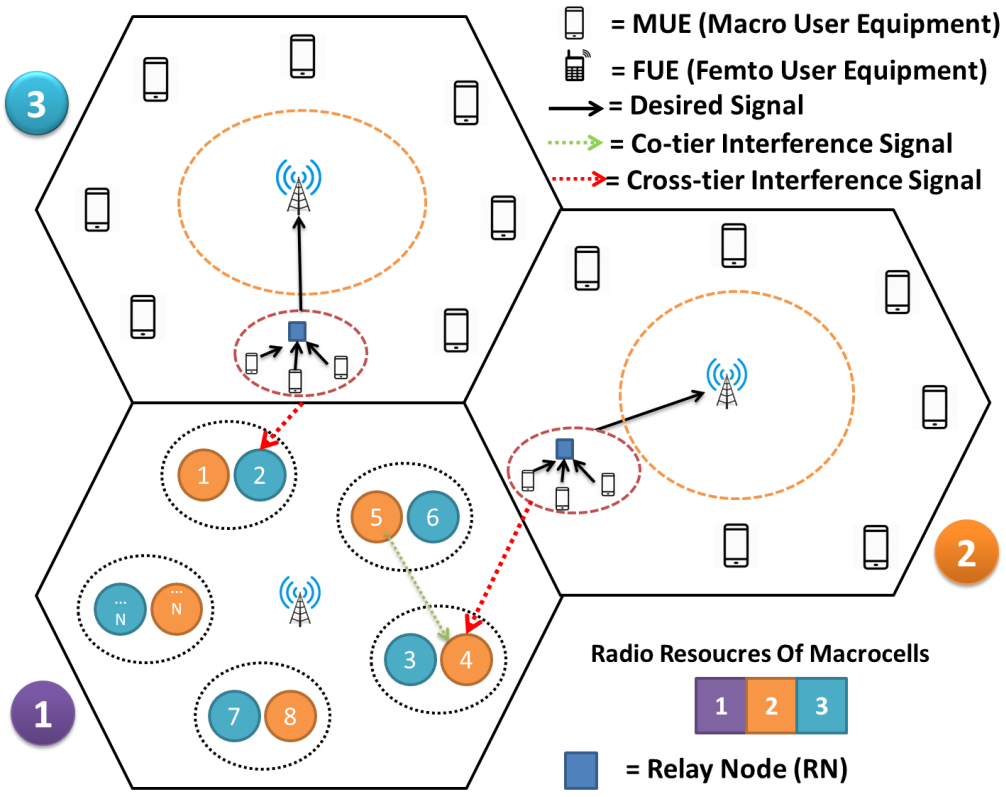
tidak perlu memancarkan daya yang besar ke eNB (daya pancar dari MUE diturunkan), sehingga interferensi yang terjadi pada HeNB yang berada di sisi sel dapat diminimalisir.



Gambar 3.3 Metode *Relay-Based Clustering*

3. Metode ketiga pada penelitian ini adalah menggabungkan metode alokasi sumber daya radio dinamis dan *relay-based clustering* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4. Pertama-tama *relay node* disebarkan pada posisi tetap di *macrocell* tetangga (*macrocell* 2 dan 3). *Relay node* akan merekrut anggotanya berdasarkan jarak terdekat. Kemudian *femtocell* akan memilih sumber daya radionya berdasarkan nilai intereferensi terendah dari macrocell tetangga yang telah disebarkan *relay*

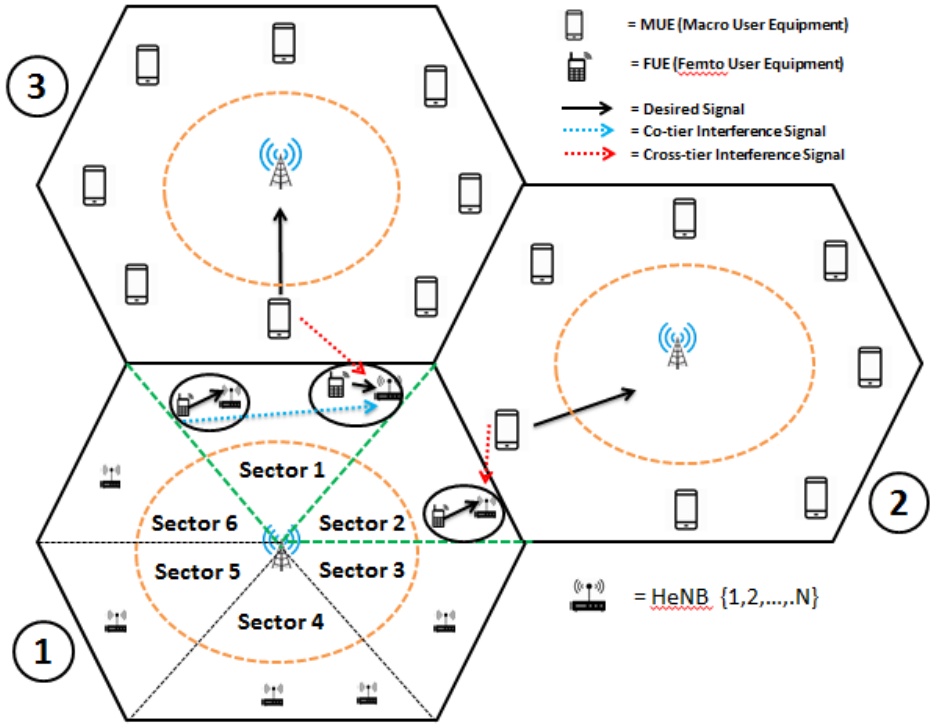
node. Apabila pertumbuhan *femtocell* yang pertama telah mengalokasikan sumber daya radionya, maka pertumbuhan *femtocell* berikutnya tidak dapat menggunakan sumber daya radio yang sama dengan yang sebelumnya. Sehingga *femtocell* yang memiliki sumber daya radio yang berbeda dikelompokkan (*clustering*) ke dalam satu kelompok tertentu. Oleh karena itu, nilai SINR pada *femtocell* yang diamati diharapkan lebih baik karena penggabungan dua metode ini (alokasi sumber daya radio dinamis dan *relay-based clustering*).



Gambar 3.4 Metode Gabungan (*Dynamic Resource Allocation* dan *Relay-Based Clustering*)

3.2.1.2 Model Sistem dengan Pembagian 6 Sektor pada *Macrocell* dan ketika *Femtocell* Tersebar pada Sisi Sel di 6 Sektor Cakupan Area *Macrocell*

Pada model sistem ini, area *femtocell* dibagi menjadi 6 sektor. Pada masing-masing sektor disebarkan *femtocell* secara acak sebanyak 33 *femtocell*. Fokus analisis dari skenario ini adalah di sektor 1 dan 2. *Femtocell* yang berada di sektor 1 letaknya berdekatan dengan tepi *macrocell* 2, sedangkan *femtocell* yang berada di sektor 2 letaknya berdekatan dengan tepi *macrocell* 3 seperti terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Penyebaran *Femtocell* di dalam Macrocell yang telah dibagi 6 Sektor Berdasarkan Sistem Konvensional

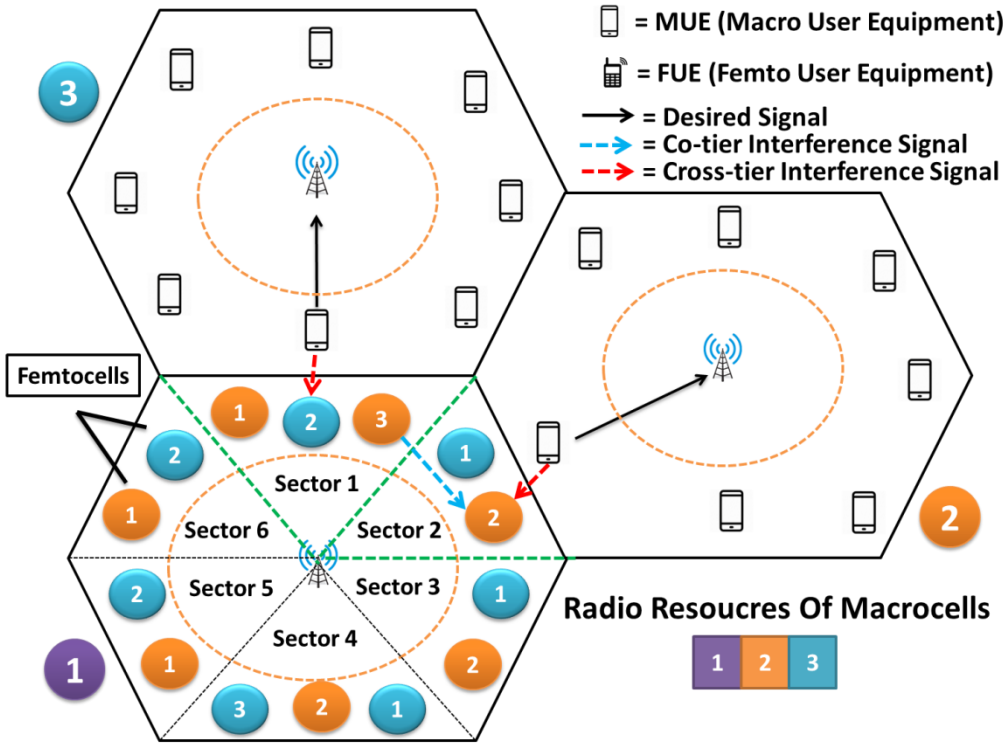
Berdasarkan Gambar 3.5 *Home enhanced Node B* (HeNB) yang berada di sisi sel mengalami interferensi dari *Macro User equipment* (MUE) di dalam *macrocell*

tetangga yang letaknya juga berada di sisi sel. Interferensi ini terjadi karena HeNB berbagi sumber daya radio yang sama dengan macrocell tetangga. Keadaan ini semakin buruk ketika HeNB jaraknya sangat dekat dengan MUE, hal ini menyebabkan kinerja HeNB semakin memburuk.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, pada penelitian ini akan dirancang tiga metode untuk manajemen interferensi pada skenario penyebaran *femtocell* di dalam *macrocell* yang telah dibagi ke dalam 6 sektor, khususnya analisa pada sektor 1 dan 2 seperti telah digambarkan sebelumnya.

a. Metode alokasi sumber daya radio dinamis merupakan metode yang akan digunakan untuk melakukan manajemen interferensi pada kasus ketika femtocell disebarkan ke dalam macrocell yang telah dibagi menjadi 6 sektor. Setiap sektor disebarkan 33 femtocell. Fokus analisis pada tesis ini hanya dilakukan pada sektor 1 dan 2. Ketika FUE yang berada di area sisi sel sektor 1 dan 2 sedang melakukan transmisi *uplink* ke arah HeNB, pada waktu yang bersamaan MUE yang terletak berdekatan dengan FUE di sektor 1 dan 2 juga sedang melakukan transmisi uplink ke arah eNB. Kejadian ini meyebabkan HeNB yang diamati mengalami interferensi karena MUE yang tersebar di dalam *macrocell* tetangga berbagi sumber daya radio yang sama dengan HeNB. Masalah interferensi ini dapat dikurangi dengan menerapkan metode alokasi sumber daya radio dinamis. HeNB atau *femtocell access point* akan mengalokasikan sumber daya radionya berdasarkan interferensi terendah dari MUE yang berada di dalam macrocell 2 atau 3. Dalam pertumbuhan jumlah *femtocell*, apabila HeNB pertama telah memilih

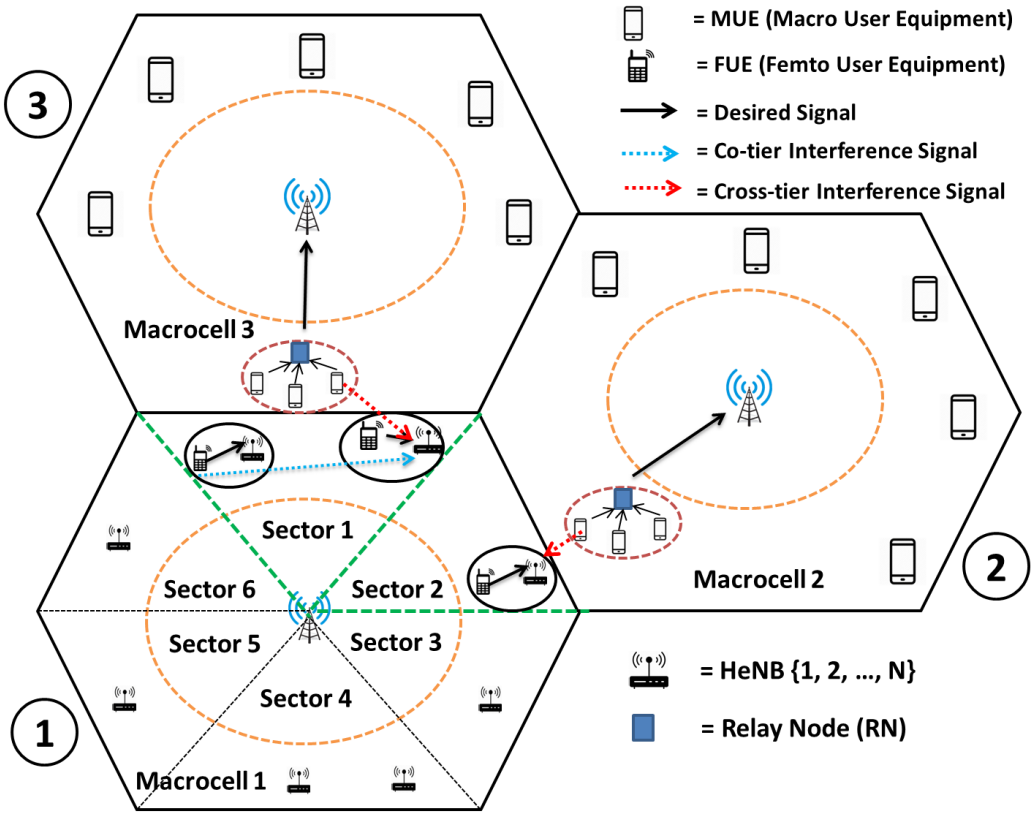
sumber daya radionya, maka HeNB berikutnya yang muncul berdekatan dengan HeNB pertama tidak diizinkan menggunakan sumber daya radio yang sama. Sehingga, HeNB yang tumbuh saling berdekatan menggunakan sumber daya radio yang berbeda-beda seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6. Dengan demikan, interferensi *co-tier* yang disebabkan oleh HeNB yang lain terhadap HeNB yang diamati dapat dikurangi.



Gambar 3.6 Penyebaran *Femtocell* di dalam Macrocell yang telah dibagi menjadi 6 Sektor Berdasarkan Sistem yang Menerapkan Metode Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis

b. Skenario ini merupakan skenario untuk memperbaiki kinerja *femtocell* menggunakan metode *relay-based clustering*. Diasumsikan bahwa *relay*

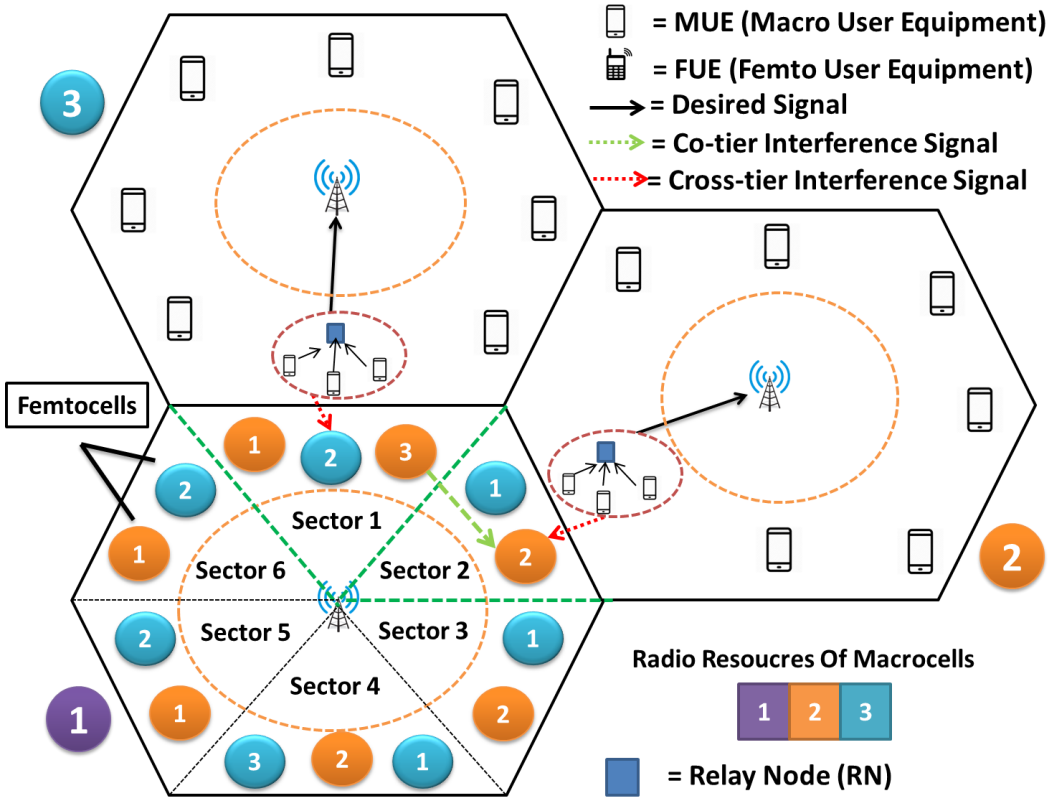
disebarkan pada posisi tetap di area *macrocell* dua dan tiga. Mirip seperti skenario sistem konvensional, pada skenario ini masing-masing sektor tersebar *femtocell* secara acak sebanyak 33 *femtocell*. Fokus analisis dari skenario ini hanya memfokuskan di sektor 1 dan 2 saja, karena sektor 1 dan 2 adalah sektor-sektor yang terdampak besar oleh interferensi dari *macrocell* tetangga. Femtocell yang berada di sektor 1 letaknya berdekatan dengan tepi macrocell 2, sedangkan femtocell yang berada di sektor 2 letaknya berdekatan dengan tepi macrocell 3 seperti terlihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Penyebaran *Femtocell* di dalam Macrocell yang telah dibagi menjadi 6 Sektor Berdasarkan Sistem yang Menerapakan Metode *Relay-Based Clustering*

Terlihat pada Gambar 3.7 FUE yang berada di sisi sel sektor 1 dan 2 sedang melakukan transmisi *uplink* ke arah HeNB. Di waktu yang bersamaan MUE yang letaknya berdekatan dengan FUE baik di sektor 1 dan 2 juga sedang melakukan transmisi *uplink* ke eNodeB (eNB). Hal ini menyebabkan HeNB mengalami interferensi yang diakibatkan oleh MUE pada *macrocell* tetangga karena berbagi sumber daya radio yang sama. Untuk mengatasi hal yang demikian, maka pada masing-masing sel disebar *relay node* secara tetap. *Relay node* akan merekrut anggotanya berdasarkan jarak terdekat antara pengguna dan *relay node*. Dengan demikian, anggota kelompok pada *relay node* tertentu tidak perlu memancarkan daya yang besar ke eNB (daya pancar dari MUE diturunkan), sehingga interferensi yang terjadi pada *user* yang berada di sisi sel dapat diminimalisir.

c. Metode ketiga yang digunakan pada tesis ini untuk manajemen interferensi pada jaringan *femtocell-macrocell* menggunakan metode kombinasi atau gabungan dari metode alokasi sumber daya radio dinamis dan metode *relay-based clustering*. Mirip seperti pada skenario sebelumnya, femtocell disebarkan secara padat di dalam cakupan area macrocell 1 yang telah dibagi ke dalam 6 sektor. Pada macrocell 2 dan 3 di dalamnya tidak disebarkan femtocell, hanya saja di dalam dua macrocell tersebut disebarkan MUE di area sisi sel. Pada macrocell 1, masing-masing sektor terdapat 33 femtocell. Fokus analisis pada bagian ini dari tesis ini hanya di sektor 1 dan 2. Sektor 1 letaknya berdekatan dengan tepi macrocell 3 dan sektor 2 letaknya berdekatan dengan tepi macrocell 2. Ilustrasi skenario ini dapat dilihat pada Gambar 3.8.



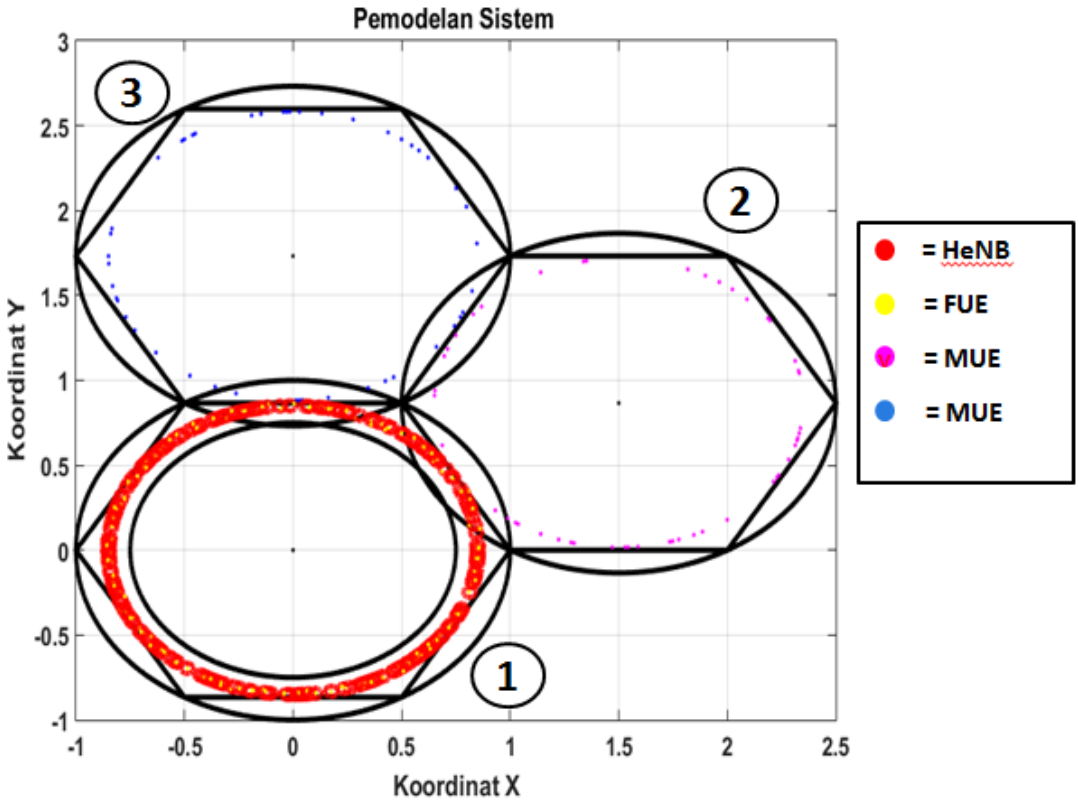
Gambar 3.8 Penyebaran *Femtocell* di dalam Macrocell yang telah dibagi menjadi 6 Sektor Berdasarkan Sistem yang Menerapakan Metode Kombinasi dari Alokasi Sumber Daya Radio Dinamis dan *Relay-Based Clustering*

Diasumsikan masing-masing FUE dan MUE sedang melakukan transmisi uplink ke arah HeNB dan eNB secara bersamaan. Kejadian ini mengakibatkan HeNB yang diamati mengalami interferensi cross-tier yang berasal dari MUE tetangga, karena sumber daya radio yang digunakan pada HeNB sama dengan MUE. Maka untuk mengatasi masalah interferensi tersebut, pada skenario ini dilakukan manajemen interferensi menggunakan kombinasi dari metode alokasi sumber daya radio dinamis dan metode *relay-based clustering*. Pertama-tama, pada *macrocell* tetangga (*macrocell*

2 dan 3) disebarkan *relay node* secara statis (posisi tetap). *Relay node* akan merekrut anggotanya berdasarkan jarak terdekat dengan anggota dan jumlah anggota maksimal dari *relay node* tersebut adalah 3 MUE. Kemudian, HeNB akan mengalokasikan sumber daya radionya berdasarkan nilai interferensi terendah dari MUE pada macrocell tetangga yang telah melalui *relay node* terlebih dahulu. Apabila dalam pertumbuhan jumlah HeNB, HeNB pertama telah dialokasikan sumber daya radionya, maka HeNB berikutnya yang dekat dengan HeNB pertama tidak boleh menggunakan sumber daya radio yang sama. Sehingga, HeNB yang tumbuh saling berdekatan menggunakan sumber daya radio yang berbeda-beda yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Dengan demikan, interferensi co-tier yang disebabkan oleh HeNB yang lain terhadap HeNB yang diamati dapat dikurangi.

3.2.2 Implementasi Simulator Sistem

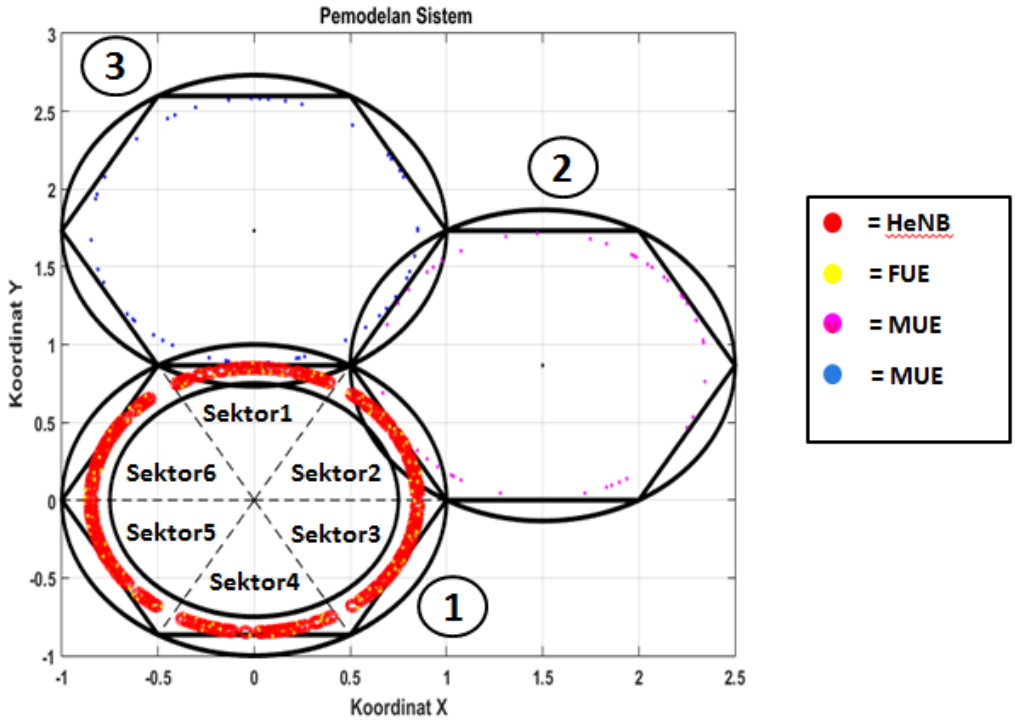
Model sistem yang dibangun pada simulasi MATLAB (simulator sistem) ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.



Gambar 3.9 Model Sistem HenB dan MUE yang Tersebar Acak Di Area Sisi Sel

Sistem yang dibangun pada Gambar 3.9 memiliki tiga buah macrocell yang masing-masing jari-jarinya adalah 1000 meter. Pada simulasi ini, macrocell 1 di dalamnya tersebar 200 *Home enhanced Node B* (HeNB) dengan jari-jari 30 meter. Untuk kesederhanaan analisis, setiap HeNB akan ada satu FUE yang disebarkan secara acak di dalam cakupan area HeNB, sehingga setiap HeNB akan melayani satu FUE. HeNB dan FUE yang tersebar di dalam macrocell ditandai dengan lingkaran berwarna merah dan kuning. Berbeda dengan *macrocell* satu, pada *macrocell* 2 dan 3 tidak tersebar femtocell, namun di dalamnya hanya ada *Macro User Equipment* (MUE) yang tersebar di area sisi sel. Masing- masing MUE yang tersebar pada *macrocell* dua dan tiga

berjumlah 50 yang ditandai dengan lingkaran berwarna ungu dan biru, sehingga jumlah keseluruhan MUE di dalam *macrocell* 2 dan 3 berjumlah 100.



Gambar 3.10 Model Sistem *Femtocell* Tersebar di Area *Macrocell* 1 Yang Dibagi Ke Dalam 6 Sektor

Sistem yang dibangun pada Gambar 3.10 terdiri dari tiga buah *macrocell* yang memiliki jari-jari 1000 meter. Pada simulasi ini, *macrocell* 1 dibagi kedalam 6 sektor. Masing-masing sektor di dalamnya tersebar 33 HeNB yang memiliki jari-jari 30 meter. Pada macrocell 2 dan 3 tidak ada HeNB yang tersebar di dalamnya, namun pada kedua macrocell tersebut tersebar MUE di area sisi macrocell 2 dan 3. Pada sistem ini diasumsikan HeNB melayani satu FUE pada saat tertentu. Lingkaran berwarna merah pada Gambar 3.10 mengindikasikan HeNB dan lingkaran berwarna kuning

merepresentasikan FUE. Sedangkan, lingkaran berwarna ungu mengindikasikan MUE yang berada di macrocell 2 dan lingkaran berwarna biru mengindikasikan MUE yang berada di macrocell 3. Masing-masing 50 MUE tersebar di dalam macrocell 2 dan 3.

3.2.3 Parameter Simulasi

Seperti pada model sistem yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini mempertimbangkan tiga macrocell jaringan seluler berbasis OFDMA, yang setiap macrocell diberikan sumber daya radio yang berbeda atau sering disebut sebagai *frequency reuse factor of 3*. Jari-jari *macrocell* dan *femtocell* yang digunakan sebesar 1000 m dan 30 m.

Diasumsikan *femtocell* hanya dapat melayani satu pengguna femto agar proses simulasi lebih sederhana. *Femtocell* di sebarkan secara acak dan padat yang terus tumbuh dari 1 hingga 200 *femtocell* di seluruh cakupan area sisi dari *macrocell*. Kami mengusulkan penyebaran 200 femtocell karena jumlah ini cukup untuk membentuk jaringan UDN yang menjadi fokus penelitian ini. Menurut referensi [33] jaringan UDN didefinisikan sebagai kepadatan *access point* yang jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan jumlah pengguna. Total *bandwidth* untuk sistem penelitian ini diatur 10 MHz, karena mengikuti standar LTE 4G. Semua sistem menerapkan skema modulasi 16 QAM sesuai dengan standar 3GPP TS 36.211 Realese 12. Parameter simulasi yang disebutkan diatas dirangkum dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1 Parameter Simulasi

No.	Parameter	Nilai
1.	Jari – jari *macrocell* [7]	1000 meter
2.	Batas luar sel dari eNB	750 meter
3.	Jari – jari *femtocell* [7]	30 meter
4.	Jumlah *macrocell* dan eNB	3 buah
5.	Jumlah *femtocell* di sisi sel	200 buah
6.	Jumlah *User* di sisi sel	100 buah
7.	*Bandwidth* [5]	10 MHz
8.	Daya Pancar *User Equipmet* (UE) [8]	23 dBm
9.	Jumlah *relay* pada masing-masing *macrocell* tetangga	16
10.	Tipe Modulasi	16 QAM
11.	Waktu Simulasi	20 kali
12.	Daya Pancar MUE ke *Relay* [31]	17 dBm
13.	Jumlah *Relay Node*	16

3.2.4 Perhitungan Sistem

Adapun perhitungan sistem yang dikerjakan pada penelitian ini meliputi perhitungan jarak antara *user* dan *base station*, *pathloss*, daya terima yang diharapkan dari *Femto User Equipment* (FUE) ke *Femto Base Station* (HeNB), daya interferensi yang terjadi antara *Macro User Equipment* (MUE) terhadap *Femto Base Station* (HeNB), *Noise*, dan *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR).

a. Perhitungan Jarak

Nilai jarak antara *base station* (eNB atau HeNB) dengan *user* (MUE atau FUE) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Jarak (m) = $\sqrt{(BTS_X - User_X)^2 + (BTS_y - User_y)^2}$ (3.1)

BTS_x dan $User_x$ merupakan koordinat pada sumbu *X* dari *base station* dan *user*, sedangkan BTS_y dan $User_y$ merupakan koordinat *Y* dari *base station* dan *user*. Perhitungan jarak dihitung karena digunakan untuk mencari nilai *pathloss*.

b. Perhitungan *Pathloss*

Nilai *pathloss* antara pemancar dan penerima pada *femtocell* dan *macrocell* daerah urban dihitung menggunakan persamaan 3.2 dan 3.3 yaitu model *pathloss* berdasarkan 3GPP TR 36.814 version 10.2.0 Release 10 dan 3GPP TR 36.922 version 10.0.0 Release 10.

Pathloss untuk *femtocell* [27]:

$$PL\ (dB) = 15{,}3 + 37{,}6\ log_{10}(jarak) \quad (3.2)$$

Pathloss untuk *macrocell* [28]:

$$PL\ (dB) = 127 + 30 log_{10}\left(\frac{jarak}{1000}\right) \quad (3.3)$$

c. Perhitungan Daya yang Diterima

Persamaan daya yang diterima (P_R) dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$P_R \text{ (dBm)} = P_{tue} \text{ (dBm)} - PL \text{ (dB)} \quad (3.4)$$

P_{tue} merupakan daya yang ditransmisikan oleh *User Equipment* (UE) dan *PL* merupakan nilai *Pathloss*. Perhitungan daya ini digunakan untuk memperoleh nilai daya terima yang diharapkan, maupun daya terima yang tidak diharapkan (interferensi).

d. Perhitungan *Noise*

Setiap sistem transmisi antara *transmitter* dengan *receiver* terdapat sinyal-sinyal yang tidak diharapkan yang ditimbulkan oleh sistem. Sinyal-sinyal yang tidak diharapkan seperti ini disebut sebagai *noise. Noise* akan mengganggu kualitas dari sinyal dan mengganggu proses pengiriman dan penerimaan data. Pada simulasi penelitian ini *noise* yang dipertimbangkan adalah *thermal noise*. *Thermal noise* terjadi karena pergerakan elektron dalam suatu konduktor. Pergerakan elektron secara acak selalu muncul di semua perangkat elektronik dan media transmisi yang disebabkan oleh temperatur. Untuk menghitung nilai *noise thermal*, diasumsikan nilai *bandwidth* sistem sebesar 10 MHz, sehingga nilai *noise* dapat diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut [29].

$$N = kTB \quad (3.5)$$

di mana:

N = *noise*

k = konstanta *Boltzman* ($1.38x10^{-23}$ W/Kelvin-Hz)

T = suhu (dalan satuan Kelvin)

B = *bandwidth* (Hz)

e. Perhitungan SINR

SINR merupakan perbandingan (*ratio*) antara daya sinyal yang diharapkan (*S*) dengan daya sinyal interferensi (*I*) dan *noise* (*N*). Persamaan SINR dapat dituliskan sebagai berikut:

$$SINR = \frac{S\,(Watt)}{I\,(Watt)+N(Watt)} \quad (3.6)$$

Setelah menghitung nilai SINR, maka selanjutnya mengubah nilai SINR ke dalam bentuk skala logaritmik dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{SINR (dB)} = 10 \text{ x } \log_{10} (\text{SINR}) \quad (3.7)$$

f. Perhitungan *Throughput*

Throughput merupakan tingkat keberhasilan pengiriman data dalam saluran komunikasi. Perhitungan *throughput* menggunakan persamaan kapasitas Shannon dengan rumus sebagai berikut[30]:

$$C = Blog_2(1 + SINR) \quad (3.8)$$

C merupakan *throughput* dalam satuan *bit per second* (bps), sedangkan B merupakan *bandwidth* channel dalam satuan *Hertz* (Hz).

g. *Bit Error Rate* (BER)

Bit Error Rate (BER) adalah jumlah kesalahan bit per satuan waktu. BER juga dapat diartikan sebagai jumlah bit yang diterima dari suatu aliran data melalui jalur komunikasi yang nilainya berubah karena gangguan noise, interferensi, dan distorsi. Nilai BER akan bergantung kepada tipe modulasi yang akan digunakan. Pada tesis ini tipe modulasi yang digunakan adalah 16-QAM. Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung nilai BER[30]:

$$BER = \frac{3}{4} Q\left(\sqrt{\frac{4}{5} E_b/N_o}\right) \tag{3.9}$$

Di mana:

$SINR$ = perbandingan antara daya sinyal yang diharapkan (S) dengan daya sinyal interferensi dan *noise*.

Eb/N_o = Perbandingan antara energi per bit $E_b$terhadap noise N_o (dB)

M = Jumlah array pada tipe modulasi 16 QAM

Q = fungsi Q

Q function dari suatu variabel yang terdistribusi normal dapat dituliskan pada persamaan (3.10)

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \tag{3.10}$$

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang didapat berdasarkan analisis dan pembahasan dari simulasi yang telah dilakukan bahwa dari ketiga metode yang diusulkan, metode gabungan merupakan metode yang paling baik dibandingkan dengan metode alokasi sumber daya radio dinamis dan metode *relay-based clustering*. Hal ini terlihat dari parameter hasil yang dipertimbangkan seperti probabilitas SINR, *throughput*, dan *bit error rate* (BER). Hasil simulasi untuk skenario penyebaran *femtocell* di seluruh cakupan area sisi sel menunjukkan bahwa kenaikan SINR pada metode gabungan mencapai 11%, sedangkan kenaikan SINR pada metode alokasi sumber daya radio dinamis dan *relay-based clustering* mencapai 9% dan 2%. Hasil tersebut didapatkan karena metode gabungan yang diusulkan dapat mengurangi interferensi *cross-tier* maupun *co-tier*, sedangkan metode alokasi sumber daya radio dinamis hanya dapat mengurangi interferensi *co-tier* dan metode *relay-based clustering* hanya dapat mengurangi interferensi *cross-tier*.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selajutnya adalah dengan mempertimbangkan parameter delay sebagai konsekuensi untuk menerapkan *relay node*.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. G. Mansfield, "*Femtocells in the US Market - Business Drivers and Consumer Propositions*", in Proceedings of the *Femtocell*s Europe, pp. 1927-1948, June 2008.

[2] Yiqiao Wei, Seung-Hoon Hwang, "*Optimization of Cell Size in Ultra-Dense Networks with Multiattribute User Types and Different Frequency Bands*", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2018, pp. 1-10, 2018.

[3] C. Liu, W. Xia, S. Xing and L. Shen, "*Optimal power allocation assisted with relay in open access femtocell network with the registered users protection*", 2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), New Orleans, LA, USA, pp. 1147-1152, 2015.

[4] Sung-Yeop Pyun, Woongsup Lee, Ohyun Jo, "*Uplink Resource Allocation for Interference Mitigation in Two-Tier Femtocell Networks*", Mobile Information Systems, vol. 2018, pp. 1-6, 2018.

[5] A. D. Mafuta, T. Walingo and F. Takawira, "*Interference Management in LTE-Advanced Cooperative Relay Networks: Decentralized Transceiver Design with Channel Estimation*", IEEE Access, vol. 7, pp. 131078-131093, 2019.

[6] A. Bezzina, M. Ayari, R. Langar and L. A. Saidane, "*A fair cluster-based resource and power allocation scheme for two-tier LTE femtocell networks*", 2016 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), Porto, Portugal, pp. 1-6, 2016.

[7] A. Abdelnasser, E. Hossain and D. I. Kim, "*Clustering and Resource Allocation for Dense Femtocells in a Two-Tier Cellular OFDMA Network"*, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 13, no. 3, pp. 1628-1641, March 2014.

[8] Jingyi Dai, Shaowei Wang, "*Clustering-based interference management in densely deployed femtocell networks*", Digital Communications and Networks, Volume 2, Issue 4, pp. 175-183, 2016.

[9] M. Charaf, H. Artail and Y. Nasser, "*Mobile relay node in public transportation for serving outside LTE cell edge users*", 2015 IEEE 11th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Abu Dhabi, United Arab Emirates, pp. 59-66, 2015.

[10] Zhang H, Chu X, Ma W. *et al*, "*Resource allocation with interference mitigation in OFDMA femtocells for co-channel deployment*", J Wireless Com Network 2012, pp. 1-9, 2012.

[11] A. D. Mafuta and T. Walingo, "*Interference Alignment for Transceiver Design in Multi-User MIMO Relay System*", 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Chicago, IL, USA, pp. 1-5, 2018.

[12] N. Al-Falahy and O. Y. K. Alani, "*Network Capacity Optimisation in Millimetre Wave Band Using Fractional Frequency Reus*e", in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 10924-10932, 2018.

[13] C. Liu, P. Huang, L. Xiao and A. Esfahanian, "*Inter-Femtocell Interference Identification and Resource Management*," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 19, no. 1, pp. 116-129, 1 Jan. 2020

[14] M. Abd-elnaby and A. Mohammed, "*A Self-Organized Dynamic Resource Allocation Scheme Using Enhanced Fractional Frequency Reuse in LTE-Advanced Relay Based Networks*", IET Communications, Vol. 48, pp.174-186, 2016.

[15] Y.-J. Liang, "*Dynamic resource allocation in mobile heterogeneous cellular networks*," in *Wireless Networks*, vol. 25, pp. 1605-1617, 2017.

[16] Peng Liu, Thomas F. LaPorta, Kameswari Kotapati, "*Chapter 11 - Cellular Network Security*", Editor(s): John R. Vacca, Network and System Security (Second Edition), Syngress, 2014, pp. 319-351, ISBN 9780124166899.

[17] Rappaport T. S," *Wireless Communication: Principles and Practices*", Prentice Hall, New Jersey, 2002, ISBN: 978-0-130-42232-3.

[18] Goldsmith. A, "*Wireless Communications*", Stanford University. California, 2005, ISBN: 978-0-521-83716-3

[19] M. Kamel, W. Hamouda and A. Youssef, "*Ultra-Dense Networks: A Survey*", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 4, pp. 2522-2545, Fourthquarter 2016

[20] J. Liu, M. Sheng, L. Liu and J. Li, "*Interference Management in Ultra-Dense Networks: Challenges and Approaches*", IEEE Network, vol. 31, no. 6, pp. 70-77, November/December 2017

[21] Michael Parker, “Chapter 17 - *Orthogonal Frequency Division Multiple Access Wireless Communications*”, Editor(s): Michael Parker, Digital Signal Processing 101 (Second Edition), Newnes, 2017, pp. 209-230, ISBN 9780128114537.

[22] H. G. Myung, J. Lim and D. J. Goodman, "*Single carrier FDMA for uplink wireless transmission*", in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 1, no. 3, pp. 30-38, Sept. 2006.

[23] "LTE Physical Layer Overview," Keysight Technologies, [Online]. Available: http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/lte/content/lte_overview.htm. [Accessed 25 Maret 2021].

[24] Kumar, N. and Jamia Millia Islamia. “*Resource Allocation in LTE Advanced for Different Services*”, Amity Journal of Computational Sciences (AJCS) , vol.1, issue 2, pp. 2456-6616, 2017.

[25] CableFree, “LTE RSRQ to SINR: LTE Metrics including RSRP, RSRQ and SINR,” cablefree.net. https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-rsrq-sinr/ (Accessed Dec. 16, 2021)

[26] S. N. Hasim and M. Susanto, “*Performance Evaluation of Cell-Edge Femtocell Densely Deployed in OFDMA-Based Macrocellular Network*”, 2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), 2020, pp. 262-266.

[27] 3GPP TR 36.814 version 10.2.0 Release 10, “*3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects (Release 9),”* European Tellecommunications Standards Institute, March 2010.

[28] 3GPP TR 36.922 version 10.0.0 Release 10, “*LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Acces (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) Requirements analysis,*” European Telecommunications Standards Institute, May 2011.

[29] V. K. Garg, “*Wireless Communications and Networking”, Elsevier Inc, San Francisco*, 2007.

[30] A. Goldsmith , “*Wireless Communications*”, Cambridge University Press, United Kingdom, 2005.

[31] S. P. Padhy, S. Sethi, and Aruna Tripathy, “*Performance Evaluation of Relays Used for Next Generation Wireless Communication Networks*,” 2018 International

Conference on Applied Electromagnetics, Signal Processing and Communication (AESPC), pp. 1-4, 2020

[32] H. Zhang, D. Jiang, F. Li, K. Liu, H. Song and H. Dai, "Cluster-Based Resource Allocation for Spectrum-Sharing Femtocell Networks," IEEE Access, vol. 4, pp. 8643-8656, 2016.

[33] M. Kamel, W. Hamouda and A. Youssef, "Ultra-Dense Networks: A Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 18, No. 4, pp. 2522-2545, Fourth quarter 2016.