

**MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN MENGGUNAKAN
KOMBINASI METODE *CLUSTERING* DAN ALOKASI SUMBER DAYA
RADIO PADA *ULTRA-DENSE NETWORK* BERBASIS OFDMA**

(Skripsi)

Oleh:

DIMAS ADJISATRIA

1615031034



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2021

ABSTRACT

INTERFERENCE MANAGEMENT USING COMBINATION OF CLUSTERING METHODS AND RADIO RESOURCES ALLOCATION IN OFDMA-BASED ULTRA-DENSE NETWORK

By
Dimas Adjisatria

Cellular network users have now increased with the advent of the smartphone era and the connection of internet services on mobile phones has made mobile phone users able to do productivity, not just making calls and sending short messages. Thus, cellular users must increase the capacity and speed of network services by reducing cell size using the latest OFDMA multiple access technology. The smaller the cell size in an area, the use of frequency reuse is also increasing, this will lead to high cellular service density, this condition is also known as Ultra-Dense Network (UDN). This UDN will cause more complex cross-tier and co-tier interference. Good interference management is needed to reduce the interference value. In this study, the researcher offers a management interference method using dynamic grouping and resource allocation methods on 1 to 120 femtocells installed in one microcell region with 3 different resource allocations. The results obtained in this study for the method offered at the SINR value got 30% better than the conventional method, the Throughput value was 45% better than the conventional method, and the BER value was 90% better than the conventional method.

Keyword: Seluler, Smartphone, OFDMA, UDN, Frequency Reuse, Interferensi, SINR, Throughput, BER

ABSTRAK

MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE CLUSTERING DAN ALOKASI SUMBER DAYA RADIO PADA ULTRA-DENSE NETWORK BERBASIS OFDMA

Oleh
Dimas Adjisatria

Pengguna jaringan seluler saat ini sudah semakin meningkat dengan munculnya era *smartphone* dan terhubungnya layanan internet pada telfon genggam membuat pengguna telepon genggam sudah dapat melakukan produktifitas bukan hanya sekedar telfon dan mengirim pesan singkat. Dengan meningkatnya pengguna seluler membuat kapasitas dan kecepatan layanan jaringan seluler juga harus meningkat salah satu caranya dengan memperkecil ukuran sel dan menggunakan teknologi *multiple access* terbaru yaitu OFDMA. Semakin kecil ukuran sel pada sebuah daerah maka penggunaan *frequency reuse* juga semakin meningkat hal ini akan menyebabkan kepadatan layanan seluler yang tinggi kondisi ini disebut juga sebagai *Ultra-Dense Netwrok* (UDN). UDN ini akan menyebabkan terjadinya interferensi *cross-tier* dan *co-tier* yang semakin kompleks. Diperlukan manajemen interferensi yang baik untuk menurunkan nilai interferensi. Pada penelitian ini, peneliti menawarkan metode manajemen interferensi menggunakan metode *clustering* dan *dynamic resource allocation* pada 1 sampai 120 *femtocell* yang dipasang pada satu wilayah *microcell* dengan 3 buah resource allocation yang berbeda. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini untuk metode yang ditawarkan pada nilai SINR mendapat 30% lebih baik dari metode konvensional, nilai Throughput 45% lebih baik dari metode konvensional, dan nilai BER 90% lebih baik dari metode konvensional.

Kata Kunci: Seluler, Smartphone, OFDMA, UDN, Frequency Reuse, Interferensi, SINR, Throughput, BER

**MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN MENGGUNAKAN
KOMBINASI METODE CLUSTERING DAN ALOKASI
SUMBER DAYA RADIO PADA ULTRA-DENSE NETWORK
BERBASIS OFDMA**

Oleh

DIMAS ADJISATRIA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE CLUSTERING DAN ALOKASI SUMBER DAYA RADIO PADA *ULTRA-DENSE NETWORK* BERBASIS OFDMA**

Nama Mahasiswa : **Dimas Adjisatria**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615031034

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

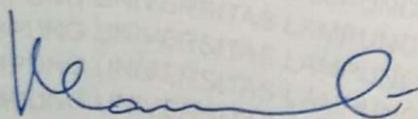
1. Komisi Pembimbing



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

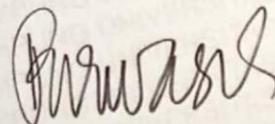
2. Mengetahui

Ketua Jurusan
Teknik Elektro



Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D.Eng.
NIP 19700719 200012 1 001

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

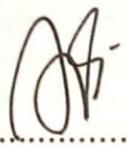


Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.** 

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

2. Dekan Fakultas Teknik


Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 Juli 2021**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh Saya sendiri. Adapun karya orang lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dicantumkan sumbernya pada daftar pustaka.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 30 Juli 2021



Dimas Adjisatria

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Rumah Sakit Peln Petamburan Jakarta Barat pada tanggal 27 September 1998, sebagai anak pertama dari lima bersaudara, dari Bapak Somad dan Ibu Tris Sumarsi.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) Dian Islami diselesaikan tahun 2004, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDIT Muhammadiyah, Tangerang pada tahun 2010, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 15 Kota Tangerang pada tahun 2013, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 15 Kota Tangerang pada tahun 2016.

Tahun 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro FT Unila melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten semua praktikum di Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Lampung, Aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) FT Unila periode 2017/2018, Badan Eksekutif Mahasiswa FT Unila 2018/2019, Himpunan Mahasiswa Banten 2017/2019, dan aktif dalam kepanitiaan konferensi internasional seperti IC-STAR 2017/2018 dan ICSB 2019. Pada tahun 2019, Penulis melakukan Kerja Praktek (KP) di PT. Telkom Indonesia. Pada Januari 2019, Penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Srimulyo, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat.



PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Dengan Mengharapkan Ridho kepada
ALLAH SWT
Kupersembahkan Karya Ini Untuk:**

Ayahanda dan Ibunda Tercinta
Somad & Tris Sumarsi

Adik-adik-ku Tersayang
Danti, Dandi, Danu, dan Dinda

Teman-teman, Kakak dan Adik Tingkat
Jurusan Teknik Elektro

Seluruh Civitas Akademik
Jurusan Teknik Elektro

Almamaterku
Universitas Lampung





MOTTO

“Allah menganugrahkan Al hikmah kepada siapa yang dikehendaki-Nya. Dan barangsiapa yang dianugrahi ia benar-benar Telah dianugrahi karunia yang banyak dan Hanya orang-orang yang barakallah yang dapat mengambil pelajaran”

(QS. Al Baqarah: 269)

“Hidup ini seperti sepeda. Agar tetap seimbang, kau harus terus bergerak”

(Albert Einstein)

“Selalu Ada Jalan Bagi Orang-orang yang Mau Berusaha”

(Dimas Adjisatria)



SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Sholawat serta salam disanjungkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafaatnya kelak di hari akhir.

Skripsi dengan judul **“MANAJEMEN INTERFERENSI DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE CLUSTERING DAN ALOKASI SUMBER DAYA RADIO PADA ULTRA-DENSE NETWORK BERBASIS OFDMA”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Unila;
2. Bapak Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung sekaligus Pembimbing Akademik saya;
3. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Pembimbing Utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc selaku Penguji Utama pada ujian skripsi yang telah memberikan saran dan kritikan yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi;

5. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M. T selaku Penguji Utama pada ujian skripsi yang telah memberikan saran dan kritikan yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi;
6. Segenap dosen dan pegawai di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang tak terlupakan;
7. Ayahanda Somad, Ibunda Tris Sumarsi, seta saudaraku Danti, Dandi, Danu, dan Dinda yang selama ini telah memberikan kasih sayang, semangat doa nasihat serta dukungan.
8. My Sunflower Yeni Rosandi, yang setia menemani dan memberikan dukungan moril.
9. Sahabat seperjuangan Acen, iam, nopal, gendis, adut,, piak, dan seluruh anak Banten 2017-2018;
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Angkatan 2016 atas kebersamaan yang selama ini kita lalui. Semoga kebersamaan ini akan tetap terjaga selamanya.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas bantuan dan dukungannya dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

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

Bandarlampung, 30 Juli 2021

Penulis



Dimas Adjisatria

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Skripsi	3
1.3 Manfaat Skripsi	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kajian Pustaka pada Penelitian yang Berkaitan.....	7
2.2 Konsep Jaringan Seluler.....	11
2.3 Paradigma <i>Ultra-Dense Network</i>	15
2.4 Arsitektur Jaringan Seluler.....	15
2.5 <i>Long Term Evolution-Advanced</i> (LTE-Advanced)	17
2.6 <i>Signal to Interference plus Noise Ratio</i> (SINR).....	20
2.7 <i>Throughput</i>	25
2.8 <i>Bit Error Rate</i> (BER)	25
2.9 CDF (<i>Cumulative Distribution Function</i>) dan CCDF (<i>Complementary Cumulative Distribution Function</i>)	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.3 Metode Penelitian.....	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi 45
4.2 Pembahasan Hasil Simulasi 55

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan 64
5.2 Saran..... 65

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Bentuk-Bentuk Sel: (a) Model Analisis; (b) Ideal dan (c) Nyata....	12
Gambar 2. 2 <i>Cluster</i> Sel dengan Jumlah Sel 3 di dalamnya	12
Gambar 2. 3 Cakupan Wilayah Sel	13
Gambar 2. 4 Model Jalur Interferensi pada <i>frequency Reuse</i> [2].....	14
Gambar 2. 5 Arsitektur Jaringan Seluler.....	17
Gambar 2. 6 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> (OFDM) [12]	19
Gambar 2. 7 <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> (OFDMA).....	19
Gambar 2. 8 <i>Resource Block</i> [13]	20
Gambar 2. 9 Ilustrasi Interferensi Jaringan Seluler.....	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi	29
Gambar 3. 2 Gambaran Umum Simulasi	31
Gambar 3. 3 Skenario 1	32
Gambar 3. 4 Skenario 2.....	32
Gambar 3. 5 Skenario 3.....	34
Gambar 3. 6 Contoh Konsep Skenario 3.....	35
Gambar 3. 7 Diagram Simulasi Sistem, (a) Skenario 1 dan (b) Skenario 2.....	39
Gambar 3. 8 Diagram Simulasi Sistem Skenario 3.....	40
Gambar 4. 1 Perbandingan Nilai SINR Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3 .	56
Gambar 4. 2 Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	57
Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai BER Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3...	58
Gambar 4. 4 Perbandingan Nilai CDF SINR Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3.....	59
Gambar 4. 5 Perbandingan Nilai CDF <i>Throughput</i> Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	61
Gambar 4. 6 Perbandingan Nilai CCDF BER Skenario 1, Skenario 2, dan Skenario 3	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 SINR Minimum terhadap Jenis Modulasi [14]	21
Tabel 2. 2 SINR Minimum Berdasarkan Jenis <i>Traffic</i> [15]	22
Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	28
Tabel 3. 2 Parameter Sistem	36
Tabel 4. 1 Hasil SINR Skenario 1	48
Tabel 4. 2 Hasil <i>Throughput</i> Skenario 1	49
Tabel 4. 3 Hasil BER Skenario 1	49
Tabel 4. 4 Hasil SINR Skenario 2	51
Tabel 4. 5 Hasil <i>Throughput</i> Skenario 2	51
Tabel 4. 6 Hasil BER Skenario 2	52
Tabel 4. 7 Hasil SINR Skenario 3	53
Tabel 4. 8 Hasil <i>Throughput</i> Skenario 3	54
Tabel 4. 9 Hasil BER Skenario 3	55
Tabel 4. 10 CDF Nilai SINR	59
Tabel 4. 11 CDF Nilai <i>Throughput</i>	60
Tabel 4. 12 CCDF Nilai BER	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan seluler merupakan salah satu teknologi yang digunakan bagi pengguna *smartphone*. Jaringan seluler dapat digunakan masyarakat dalam mengakses informasi ataupun aplikasi di dalam *smartphone* yang terhubung atau membutuhkan akses internet. Dengan begitu, meningkatnya jumlah pengguna *smartphone* akan membuat permintaan akses layanan jaringan seluler juga akan meningkat. Sebagai contoh, Negara Britania Raya memiliki jumlah penduduk sebesar 65,6 juta jiwa dengan pengguna *smartphone* sebesar 54 juta pengguna, sehingga lebih dari 80 persen masyarakat di negara tersebut membutuhkan akses internet untuk memaksimalkan penggunaan *smartphone* yang dimiliki [1]. Di Indonesia pada 2015 sudah ada 55 juta pengguna *smartphone* yang terus meningkat hingga pada 2019 terdapat 73 juta pengguna *smartphone*, artinya perkembangan permintaan penggunaan *smartphone* terus meningkat dengan pesat sebesar 15-20% per tahun [1]. Untuk mengikuti peningkatan pengguna *smartphone*, maka kapasitas layanan seluler juga harus ditingkatkan dengan dibangun sel-sel yang lebih kecil seperti *Femtocell* di dalam sebuah sel yang lebih

besar [2]. *Femtocell* merupakan teknologi saat ini yang dianggap mampu untuk meningkatkan kapasitas pengguna layanan jaringan seluler [3].

Jumlah layanan seluler *Femtocell* yang terus meningkat pada suatu wilayah akhirnya memunculkan istilah yaitu *Ultra-Dense Network (UDN)*. *Ultra-Dense Network* merupakan istilah di mana penggunaan layanan seluler sangat besar pada suatu wilayah dengan tingkat kepadatan pengguna yang tinggi dan *Traffic* yang tinggi [4]. Pada wilayah ini akan tumbuh banyak *Femtocell* yang tidak dapat diprediksikan untuk meningkatkan kapasitas layanan jaringan seluler. Pada umumnya permintaan instalasi *femtocell access point (FeNB)* adalah atas permintaan pengguna, sehingga lokasi instalasi dari FeNB tidak dapat diperkirakan sebelumnya. Dengan munculnya FeNB pada area *microcell/macrocell* akan memunculkan permasalahan interferensi, maka perencanaan *frequency Reuse* pada *Femtocell* dan/atau *microcell* yang tepat juga akan mengakomodir masalah mengenai keterbatasan spektrum frekuensi yang dimiliki oleh operator penyedia layanan jaringan seluler [2]. Namun, hal ini memungkinkan interferensi yang dialami oleh pengguna akan semakin kompleks yang dapat menyebabkan menurunnya nilai *Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)*. Dengan menurunnya nilai SINR, maka nilai *Throughput* yang diterima akan semakin menurun dan meningkatkan terjadinya *Bit Error Rate (BER)* pada pengguna *smartphone*. Hal ini bertolak belakang dengan permintaan kapasitas *Traffic* yang tinggi dari setiap pengguna *smartphone* saat ini. Alokasi sumber daya radio yang dimiliki merupakan hal terpenting yang dapat

dikembangkan untuk menghindari terjadinya interferensi yang kompleks dan meningkatkan nilai SINR [5].

Dari latar belakang yang dijelaskan di atas maka penulis merasa perlu untuk merancang dan menganalisis metode yang dapat digunakan untuk dapat menekan nilai interferensi antara pengguna dan meningkatkan nilai SINR. Metode yang akan ditawarkan adalah penggabungan teknik *Clustering* pada *Femtocell* yang tumbuh secara acak dan teknik *dynamic resource allocation* yang dimiliki pada komunikasi radio jaringan seluler.

1.2 Tujuan Skripsi

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mencari suatu metode dalam mengatasi masalah interferensi yang muncul dengan merancang algoritma penggabungan teknik *Clustering* dan *dynamic resource allocation* pada UDN;
2. Mensimulasikan algoritma yang sudah direncanakan dengan *software* Matlab untuk melihat pengaruh algoritma yang sudah direncanakan pada peningkatan nilai SINR, peningkatan nilai *Throughput*, dan probabilitas terjadinya *Bit Error* oleh *User equipment* (UE) di dalam *Femtocell* pada UDN;
3. Memperoleh hasil pengujian dan menganalisis nilai SINR, nilai *Throughput*, dan probabilitas terjadinya *Bit Error* terhadap kerapatan *Femtocell* pada UDN menggunakan teknik *Clustering* dan *dynamic resource allocation*.

1.3 Manfaat Skripsi

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengajukan solusi yang dapat direkomendasikan untuk menyelesaikan masalah perkembangan teknologi jaringan seluler yang terus meningkat ditengah masyarakat yaitu interferensi, dengan melihat parameter meningkatnya nilai SINR, meningkatnya nilai *Throughput*, dan menurunnya probabilitas terjadinya *Bit Error* terhadap kerapatan *Femtocell* pada wilayah UDN dengan teknik *Clustering* dan *dynamic resource allocation*.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang dibahas pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja parameter yang digunakan dalam skenario yang dilakukan;
2. Bagaimana membuat skenario pada *software* matlab sesuai dengan skenario yang sudah ditetapkan;
3. Bagaimana merencanakan algoritma teknik *Clustering* pada jaringan seluler;
4. Bagaimana merencanakan algoritma yang baik untuk *dynamic resource allocation*.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak memperkirakan *User equipment* bergerak di dalam *Femtocell* ataupun *microcell*;

2. Hanya terdapat tiga *microcell* dan maksimal 120 *Femtocell* yang masih dalam cakupan *microcell*;
3. Interferensi yang diperhitungkan adalah *cross-tier* dan *co-tier*;
4. Interferensi yang dianalisis hanya sisi *downlink* dengan parameter *multiplexing* jaringan seluler OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*);
5. Parameter yang digunakan mengacu pada standarisasi jaringan LTE-*Advanced*.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, akan dijelaskan latar belakang, tujuan penulisan skripsi, manfaat penulisan skripsi, batasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai hal yang berkaitan dengan penulisan skripsi ini seperti konsep jaringan seluler dasar hingga 4G-LTE, teknologi *multiplexing* OFDMA, penjelasan mengenai interferensi, penjelasan mengenai nilai *Throughput*, penjelasan mengenai nilai *Spectral Efficiency*, dan penjelasan mengenai teknik *Clustering* dan *Resource allocation*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai langkah-langkah penelitian yang memuat waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, jadwal penelitian, dan

metode penelitian yang berisikan studi literatur yang dilakukan, pemodelan sistem, diagram alir pengerjaan skripsi, dan diagram simulasi sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan disajikan hasil analisa dan melakukan pembahasan mengenai skenario yang sudah dilakukan.

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, akan berisikan simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan pada skripsi ini dan saran yang diberikan penulis untuk penelitian yang berhubungan dengan topik skripsi ini agar selanjutnya penelitian yang dilakukan bisa lebih baik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka pada Penelitian yang Berkaitan

Penelitian mengenai *Ultra-Dense Network* sudah banyak dilakukan yang bertujuan menghadapi era jaringan seluler dengan kapasitas yang lebih besar dengan kerapatan yang sangat tinggi. Perkembangan teknologi berbasis pemanfaatan jaringan internet pada *gadget* atau *smartphone* membuat teknologi jaringan seluler harus selalu berkembang dari segala aspek salah satunya mengenai *Quality of Service* (QoS) sehingga pengalaman menggunakan aplikasi dalam *gadget* atau *smartphone* tidak terganggu oleh nilai QoS yang buruk.

Pada penelitian [3], dijelaskan mengenai peningkatan nilai *Signal to Interference and Noise Ratio* (SINR) menggunakan teknik *Clustering* berbasis pada pengalokasian *Resource* yang dimiliki oleh jaringan *downlink* akses jamak *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Pada model sistem penelitian tersebut menggunakan akses *downlink* OFDMA pada *microcell* dan *Femtocell* yang terdapat pada wilayah *microcell*. Setiap *Femtocell* memiliki jarak yang berdekatan dengan jumlah *user* di dalamnya berjumlah 1 sampai 5 *user*.

Pada penelitian [6], dijelaskan mengenai teknik *resource allocation* berbasis *QoS Guarantee*, di mana jumlah *Physical Resource Block* (PRB) yang akan didistribusikan kepada *user* berbanding lurus dengan nilai argumen maksimal SNR pada sistem model penelitian tersebut. Pada penelitian tersebut tidak dilakukan pada *Ultra-Dense Network*. Sistem model yang dibuat hanya berupa satu buah *microcell* dengan beberapa *user* di dalamnya tanpa adanya interferensi *Co-Channel*. Teknologi akses jamak yang digunakan adalah OFDMA pada sisi *downlink*.

Pada penelitian [7], dijelaskan mengenai teknik *Clustering* untuk menghindari interferensi yang besar pada *Ultra-Dense Network*. Pada penelitian tersebut analisis yang dilakukan yaitu pada sisi *downlink* dengan akses jamak OFDMA. Skenario yang digunakan adalah terdapat *Femtocell* yang terus tumbuh di dalam sebuah *microcell* dengan luas daerah sebesar $200 \times 200 \text{ m}^2$. Teknik yang digunakan adalah menggabungkan *Heuristic Algorithm* dan *Sub-channel Allocation Algorithm*. Salah satu tujuan dari penelitian tersebut adalah merancang sebuah ukuran *Femtocell* dengan ukuran yang baik agar terhindar dari interferensi. Penelitian ini menggunakan nilai W di mana digunakan untuk mengukur besarnya interferensi antara 2 sel dan dapat dikatakan sebagai konstanta untuk menentukan batas dari *Femtocell* tersebut. Hasil yang diperoleh adalah peningkatan nilai *Throughput* hampir 30% dari teknik *random* pada penelitian tersebut.

Pada penelitian [5], dijelaskan mengenai teknik *Clustering* dan teknik alokasi sumber daya radio pada akses jamak OFDMA 4G-LTE. Pada penelitian tersebut menggunakan sebuah *microcell* dan *Femtocell* dengan frekuensi tengah yang berbeda agar tidak terjadi interferensir. Skema yang dilakukan terdiri dari dua fase. Pada fase pertama, Ph-eNB dikelompokkan dalam komunitas (*Cluster*) dengan menggunakan algoritma jarak *Max-Min* yang dimodifikasi dan algoritma *k-means*. Sedangkan pada fase kedua, algoritma alokasi sumber daya spektral dijalankan untuk mengalokasikan sumber daya *bandwidth* berdasarkan permintaan lalu lintas pengguna yang sebenarnya.

Pada Penelitian [8] yang berjudul *Downlink Interference Rejection in Ultra Dense Network*. Dilakukan pembentukan *Virtual Cell (VC)* dan Dilakukan pembentukan *Virtual Cell Clustering* pada pengguna berdasarkan nilai interferensi yang diterima oleh pengguna. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir interferensi yang terjadi.

Pada Penelitian [9] yang berjudul *Resource Allocation for Ultra-Dense Networks with Machine Learning Based Interference Graph Construction* dibahas pembuatan simulasi menggunakan konsep algoritma Machine Learning untuk memastikan tingkat akurasi yang tinggi seperti di lapangan. Untuk menentukan alokasi sumber daya radio dilakukan dengan mengidentifikasi gangguan yang lemah dan gangguan yang besar, Untuk gangguan yang lemah akan dilakukan pengalokasian ulang spektrum frekuensi dengan menggunakan konsep K-means cluster yang dipadu dengan Machine learning. Jika terdapat alokasi sumber daya

radio yang tersisa maka akan digunakan kembali pada femtocell berikutnya. Hal ini dapat meningkatkan nilai throughput hingga 186%.

Pada penelitian [10] yang berjudul *A QoS-Based Cross-Tier Cooperation Resource*

Allocation Scheme Over Ultra-Dense HetNets. Peneliti mengajukan nilai minimal SINR sebagai ambang batas QoS pada pengguna seluler. Dengan menggunakan teori geometri stokastik, peneliti dapat melihat pengaruh interferensi yang terjadi pada penggunaan bersama spektrum frekuensi. Dengan demikian peneliti dapat menentukan mekanisme yang tepat untuk menurunkan nilai interferensi yang terjadi. Pada penelitian ini mekanisme yang dilakukan adalah mengurangi daya dan mengatur penggunaan *Frequency Reuse*. Hasil simulasi memverifikasi bahwa skema yang diusulkan memiliki kinerja yang lebih baik daripada dua algoritma lain.

Pada penelitian [11] yang berjudul *Mobile Edge Computing Based Task Offloading*

and Resource Allocation in 5G Ultra-Dense Networks. peneliti menemukan masalah yang terjadi pada pengguna seluler yang berada pada sisi sel di mana nilai interferensi yang terjadi akan semakin besar, dengan demikian peneliti mengajukan peninjauan ulang mengenai beban yang diberikan kepada server untuk mencakup pengguna seluler di tepi sel. Pada penelitian ini diajukan teknik *differential evolution algorithm* untuk meningkatkan efisiensi pemberian tugas

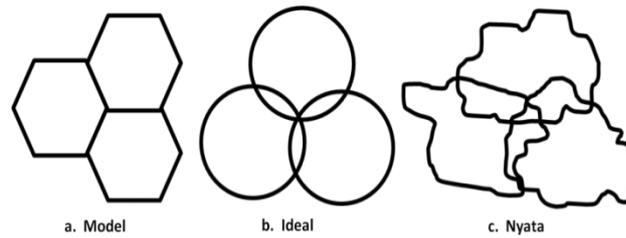
pada server. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema yang diusulkan dapat mengurangi konsumsi energi dan memiliki konvergensi yang lebih baik.

Pada penelitian [12] yang berjudul *Proactive Mobility Management with Trajectory*

Prediction based on Virtual Cells in Ultra-dense Networks, peneliti ingin melakukan optimalisasi terjadinya perpindahan layanan dari satu sel ke sel yang lainnya dengan menggunakan *Trajectory Prediction*. Sebelum terjadinya *handover* BS sudah memprediksi perpindahan kendaraan berdasarkan lokasi sebelum berpindah. Algoritma yang digunakan berkaitan dengan *Long Short-Term Memory (LSTM) networks* dan *Dead Reckoning (DR) method*. Hasil yang diperoleh adalah algoritma ini akurat dalam melakukan prediksi perpindahan user sehingga tidak terdapat frekuensi yang tumpang tindih pada saat proses *handover*.

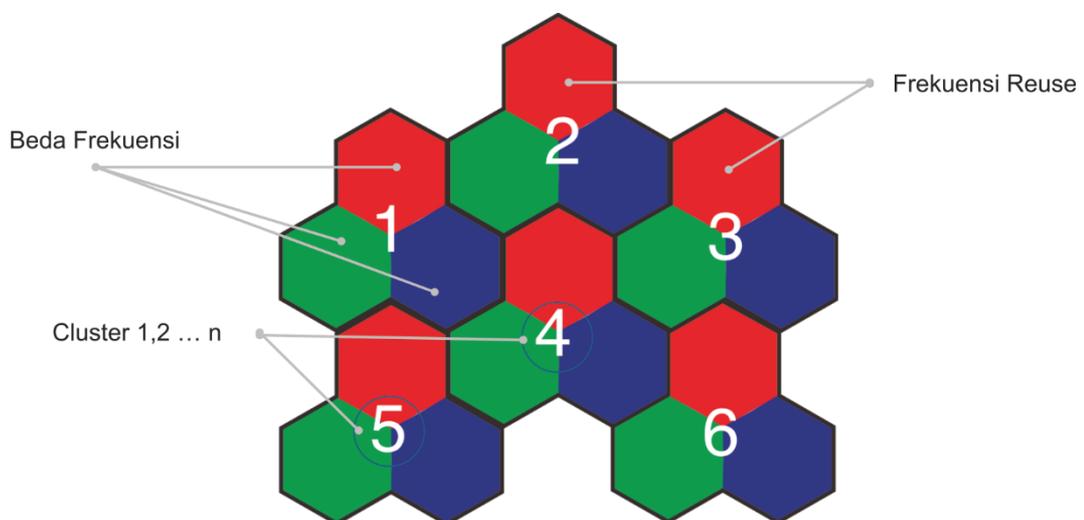
2.2 Konsep Jaringan Seluler

Konsep seluler diadopsi karena dianggap mampu untuk memecahkan masalah kepadatan penggunaan spektrum frekuensi yang terbatas dan meningkatnya jumlah pengguna layanan akses *mobile* [2]. Terdapat kata “Sel” pada kata Seluler. Hal ini merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan cakupan wilayah yang dilayani pada jaringan seluler seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada konsep seluler dibutuhkan sebuah pemancar dengan daya yang tinggi untuk sebuah sel yang besar dan daya yang rendah untuk sel yang lebih kecil yang disebut sebagai *Base station* [2].



Gambar 2. 1 Bentuk-Bentuk Sel: (a) Model Analisis; (b) Ideal dan (c) Nyata

Salah satu masalah utama yang muncul dalam sistem telekomunikasi bergerak dengan menggunakan kanal radio adalah meningkatnya jumlah pengguna dengan terbatasnya spektrum frekuensi (kanal radio) yang tersedia. Jaringan seluler menawarkan solusi berupa penggunaan frekuensi kembali atau *frequency Reuse* dengan melakukan klusterisasi sel yang tersedia [2], membuat sel-sel yang lebih kecil di dalam sel yang lebih besar, dan mempersempit sektor sudut pada antena pemancar sehingga antena pemancar yang dibutuhkan lebih banyak [2].

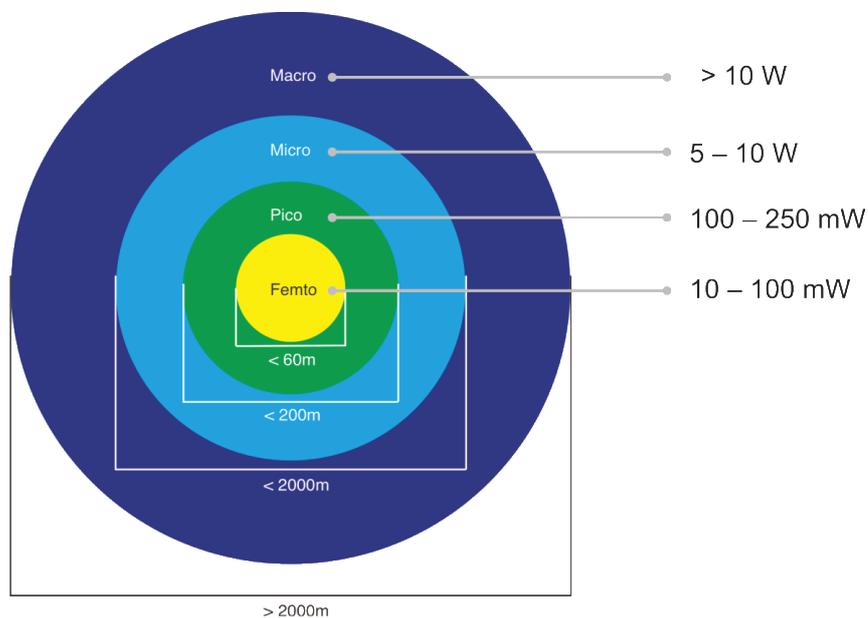


Gambar 2. 2 Cluster Sel dengan Jumlah Sel 3 di dalamnya

Pada Gambar 2.2 terlihat ada beberapa sel dengan warna yang sama menandakan penggunaan spektrum frekuensi yang sama atau disebut *frequency Reuse*. Terdapat 6 *Cluster* pada gambar tersebut.

2.2.1 Cakupan Wilayah Seluler

Berdasarkan diameter, cakupan wilayah jaringan seluler saat ini terbagi atas *Macrocell*, *Microcell*, *Picocell*, dan *Femtocell* [13].

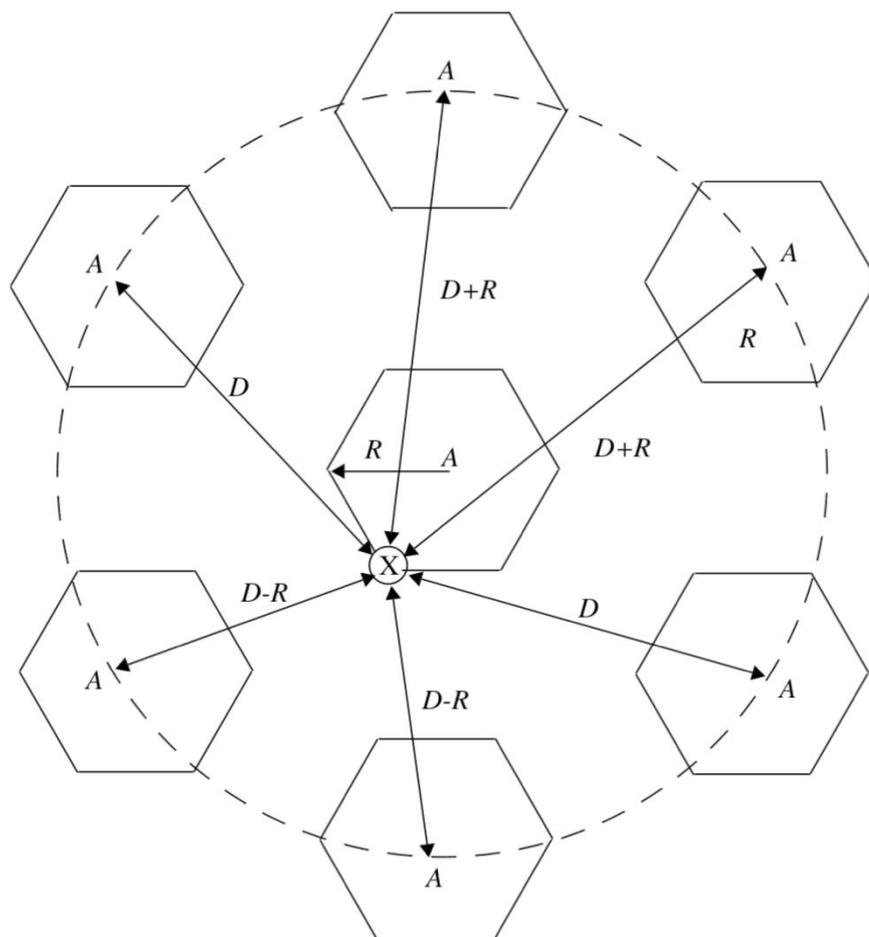


Gambar 2. 3 Cakupan Wilayah Sel

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, untuk *Femtocell* ukuran diameter cakupan wilayah sebesar maksimal 60 meter dengan daya pancar 10-100 mW, *Picocell* memiliki diameter maksimal 200 meter dengan daya pancar 100-250 mW, *Microcell* memiliki diameter sebesar maksimal 2 Km dengan daya pancar 5-10 W, dan untuk *Macrocell* memiliki diameter lebih dari 2 Km dengan daya pancar lebih dari 10 W.

2.2.2 Pengulangan Penggunaan Frekuensi (*Frequency Reuse*)

Pengulangan penggunaan frekuensi atau *frequency Reuse* adalah sebuah teknik yang digunakan untuk menambah kapasitas layanan yang diberikan pada jaringan seluler [5]. Terbatasnya spektrum frekuensi [2], membuat kanal yang tersedia juga terbatas sehingga perlu dilakukan pengulangan frekuensi pada beberapa sel dengan terpisahkan oleh jarak tertentu, namun tidak bersebelahan dikarenakan akan menimbulkan interferensi yang sangat tinggi. Dengan teknik *Cluster* sel, kita dapat memodelkan dan memperkirakan interferensi yang terjadi pada satu sel dengan sel yang lainnya yang memiliki besar spektrum frekuensi yang sama atau *frequency Reuse* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2. 4 Model Jalur Interferensi pada *frequency Reuse* [2]

2.3 Paradigma *Ultra-Dense Network*

Menurut [4], sebuah wilayah dikatakan sebagai “dense urban *network*” memiliki nilai kerapatan rata-rata hingga 3000 Orang per Km² dengan *bandwidth* per tiap *user* minimal sebesar 2 Mbps. Jika kita hitung nilai kerapatan dalam meter persegi menjadi 0,003 Orang per M². Dengan begitu kita dapat berasumsi bahwa wilayah dikatakan sebagai “Ultra Dense-*Network*” jika memiliki lebih dari 100 *Femtocell* dalam cakupan *microcell*.

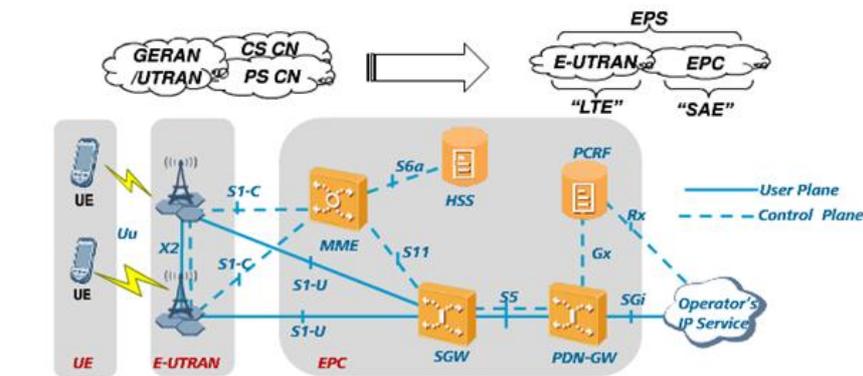
2.4 Arsitektur Jaringan Seluler

Radio seluler adalah teknik yang dikembangkan untuk meningkatkan kapasitas layanan yang tersedia pada layanan telepon radio bergerak. Pada arsitektur jaringan seluler terdapat beberapa bagian antara lain:

1. *Base Station* (BS) merupakan perangkat *transceiver*, yaitu pemancar dan penerima yang berfungsi sebagai penghubung perangkat yang digunakan pelanggan dengan jaringan agar dapat terhubung dengan jaringan lainnya. Sebuah *Base Station* terdiri atas *Transceiver*, *Combiner*, *Power Amplifier*, *Duplexer*, dan *Antenna* [14];
2. *Base Station Controller* (BSC) berfungsi untuk mengatur *handover* dan mengatur *Traffic* dari BSC menuju MSC [14];
3. *Mobile Switching Center* (MSC) merupakan titik penyambungan atau *switch* ISDN untuk teknologi GSM [14];
4. *Home Location Register* (HLR) adalah *server* yang berisi data pelanggan. Data-data tersebut antara lain adalah layanan pelanggan dan informasi lokasi pelanggan;

5. *Visitor Location Register (VLR)* VLR hampir sama dengan HLR, namun VLR hanya menyimpan informasi sementara dari pelanggan, terutama lokasi pelanggan dari cakupan area jaringan;
6. *Authentication Center (AuC)* adalah database mengenai informasi pelanggan yang disimpan dalam bentuk kode-kode atau bisa disebut *Authentication Code* dan digunakan untuk mengontrol penggunaan jaringan yang sah.

Jaringan 4G LTE memiliki arsitektur yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, untuk BS disebut sebagai eNodeB. eNodeB merupakan suatu BS *Evolved* yang berfungsi mengatur *mobile station* pada suatu sel tertentu. Selain fungsi BS pada umumnya yang hanya menangkap sinyal Analog dan mentransmisikannya dalam bentuk sinyal Digital, eNodeB juga dapat mengatur sinyal pada pemrosesan *Handover*. Untuk MSC diganti dengan MME (*Mobility Management Entity*), seperti peran yang terdapat pada jaringan 3G fungsi MME mengatur operasi tingkat tinggi pada UE (*User Equipment*), yaitu mengirim pesan dan berkomunikasi dengan HSS (*Home Subscriber Server*) dan SGW (*Serving Gateway*). Pada MME juga dapat dilakukan *handover* pada jaringan 3G/2G dan juga antara eNodeB. *Serving gateway* terhubung dengan eNodeB, MME, dan PGW. SGW (*Serving Gateway*) bertindak sebagai *router* yang meneruskan data dari BS ke PDN/PGW (*Packet Data Network Gateway*). SG menjadi suatu *Switch* pada EPC (*Evolved Packet Core*) jenis data apa yang ingin diterima oleh UE. PGW berkomunikasi langsung dengan Eksternal Paket Data *Network*. Secara sistem PGW memiliki peran penting yaitu memberikan alokasi IP pada UE dan berkomunikasi dengan IP *host* internet lainnya



Gambar 2. 5 Arsitektur Jaringan Seluler

2.5 Long Term Evolution-Advanced (LTE-Advanced)

3GPP *Long Term Evolution* (LTE) merupakan kemajuan besar dalam teknologi seluler. LTE dirancang untuk memenuhi kebutuhan operator akan data dan media transportasi berkecepatan tinggi serta dukungan suara berkapasitas tinggi hingga 10 tahun berikutnya. Teknologi LTE menggunakan akses jamak *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada *downlink* (DL) dan *Single Carrier - Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada *uplink* (UL). OFDMA memungkinkan data untuk diarahkan ke atau dari beberapa pengguna berdasarkan *subcarrier-by-subcarrier* untuk sejumlah periode simbol tertentu [15].

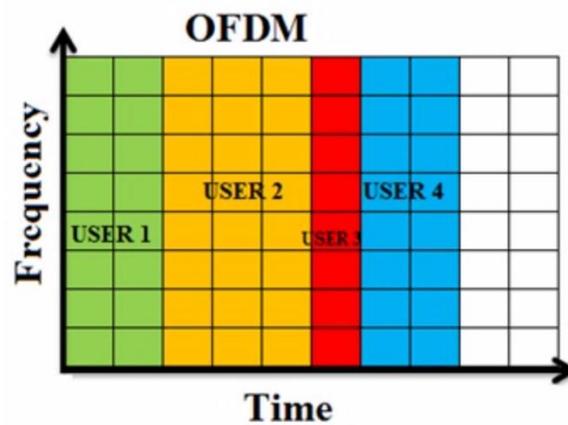
Pengembangan *Long Term Evolution-Advanced* (LTE-Advanced) oleh 3GPP memiliki beberapa tujuan dan spesifikasi sebagai berikut:

1. Meningkatkan peak data tertinggi untuk *downlink* sebesar 3 Gbps dan untuk *uplink* sebesar 1,5 Gbps [16];

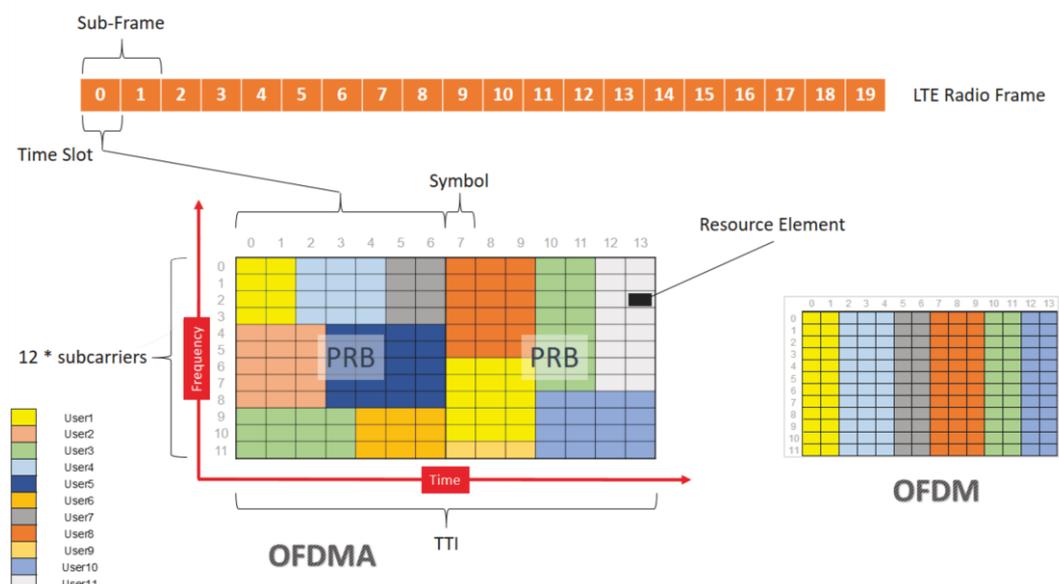
2. Mendukung kanal *bandwidth* sebesar 1,25 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, dan 20 MHz [15];
3. Mendukung *Throughput* untuk pengguna hingga, DL hingga 100 Mbps dan UL hingga 50 Mbps pada kanal 20 MHz [15];
4. *Latency* sebesar <10 ms pada *user* [15];
5. Efisiensi spektral yang lebih tinggi, dari maksimum 16bps/Hz di R8 hingga 30 bps/Hz di R10 [16];
6. Modulasi yang digunakan QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

2.5.1 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

OFDMA merupakan sebuah teknik akses jamak pada LTE yang memungkinkan *base station* dapat mengirimkan banyak informasi kepada beberapa *user* yang dilayani oleh *base station* tersebut tanpa mengalami tabrakan walaupun dikirimkan secara bersamaan. OFDMA merupakan gabungan dari teknik TDMA (*Time Division Multiple Access*) dan FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) [17]. Jika pada OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) seluruh *sub-carrier* yang dimiliki hanya dialokasikan pada satu *user* dengan *symbol* dalam waktu tertentu seperti hanya pada TDMA ditunjukkan pada Gambar 2.6. Namun pada OFDMA seluruh *sub-carrier* yang dimiliki dapat dialokasikan pada beberapa *user* hampir sama dengan prinsip FDMA seperti diilustrasikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* [17]

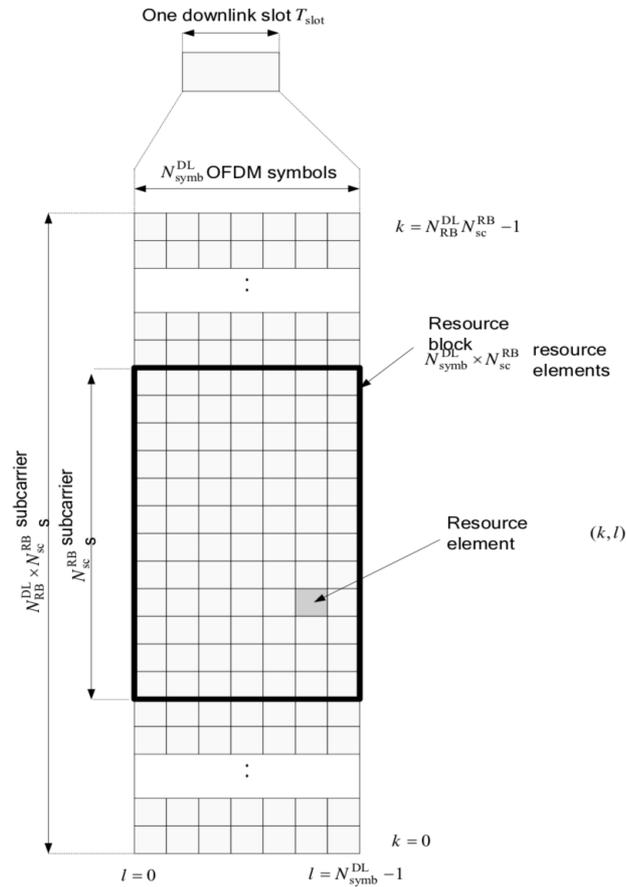


Gambar 2. 7 *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*

2.5.2 Resource Block

Setiap *user* yang menggunakan teknologi 4G-LTE akan mendapatkan akses jamak dengan menggunakan teknik *multiple access* yaitu OFDMA. Pada OFDMA setiap *user* akan diberikan *Resource* berupa *Resource Block* dan sesuai dengan standarisasi LTE, setiap *user* akan memiliki 6 – 110 *Physical Resource Block* (PRB) [18]. Di dalam sebuah *Resource Block* terdapat *Resource element* yang

memiliki besar *sub-carrier* sebesar 15 kHz dan *symbol* dalam waktu sebesar 0,5 ms. Satu buah *Resource Block* terdiri atas 12 *sub-carrier* dan 7 *symbol* pada konfigurasi Normal *cyclic prefix* seperti diilustrasikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 *Resource Block* [18]

2.6 Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)

Signal to Interference plus Noise Ratio atau SINR merupakan suatu parameter dasar yang digunakan pada jaringan komunikasi seluler dalam menentukan *Quality of Service* (QoS) yang dapat diberikan oleh jaringan tersebut. QoS tersebut akan menentukan kualitas dari komunikasi yang dilakukan menggunakan jaringan tersebut. Parameter yang biasanya menjadi penentuan QoS adalah *Throughput*, *Jitter*, *Delay*, *BER*, dan *Outage Probability*. SINR merupakan nilai

dari perbandingan antara sinyal yang diharapkan *user equipment* (UE) oleh suatu pemancar dan sinyal yang diterima *user equipment* (UE) dari pemancar lainnya ditambah dengan *noise* seperti pada persamaan (2.1)

$$SINR = \frac{P_{RxExpected}}{\sum_n^m P_{RxInterference} + P_{Noise}} \quad (2.1)$$

Di mana:

$SINR$ = Nilai Signal to Noise plus Interference Ratio

$P_{RxExpected}$ = Daya terima yang diharapkan (watt)

$P_{RxInterference}$ = Daya terima yang tidak diharapkan (watt)

P_{Noise} = Noise (watt)

Berikut merupakan tabel dari SINR minimum dan nilai *Throughput* berdasarkan modulasi yang digunakan:

Tabel 2. 1 SINR Minimum terhadap Jenis Modulasi [19]

Index	Modulation and coding	Throughput [Bits/s/Hz]	$SINR_{min}$ [dB]
0	Outage	0	<0.9
1	QPSK 1/3	0.75	0.9
2	QPSK 1/2	1	2.1
3	QPSK 2/3	1.25	3.8
4	16QAM 1/2	2	7.7
5	16QAM 2/3	2.75	9.8
6	16QAM 5/6	3.25	12.6
7	64QAM 2/3	4	15.0
8	64QAM 5/6	5	18.2

Berikut merupakan tabel dari SINR minimal berdasarkan *Traffic* yang digunakan:

Tabel 2. 2 SINR Minimum Berdasarkan Jenis *Traffic* [20]

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

2.6.1 Noise

Noise adalah sinyal yang tidak diharapkan yang muncul ketika proses transmisi antara BTS dan *user* terjadi. Terdapat beberapa kategori *noise*, antara lain: *thermal noise*, Inter Modulation (IM) *noise*, *crosstalk*, dan *impulse noise*. *Thermal noise* terjadi di semua media transmisi dan semua peralatan komunikasi. *Thermal noise* memiliki nilai yang berbanding lurus dengan Bandwidth (Bw) dan temperatur (T), artinya semakin besar bandwidth dan temperatur maka nilai *thermal noise* akan semakin meningkat. Daya *noise* dapat diketahui besarnya dengan menggunakan Persamaan (2.1) berikut [21].

$$N_o = kT \text{ (Watt/Hz)} \quad (2.2)$$

Di mana:

N_o = daya *noise* thermal,

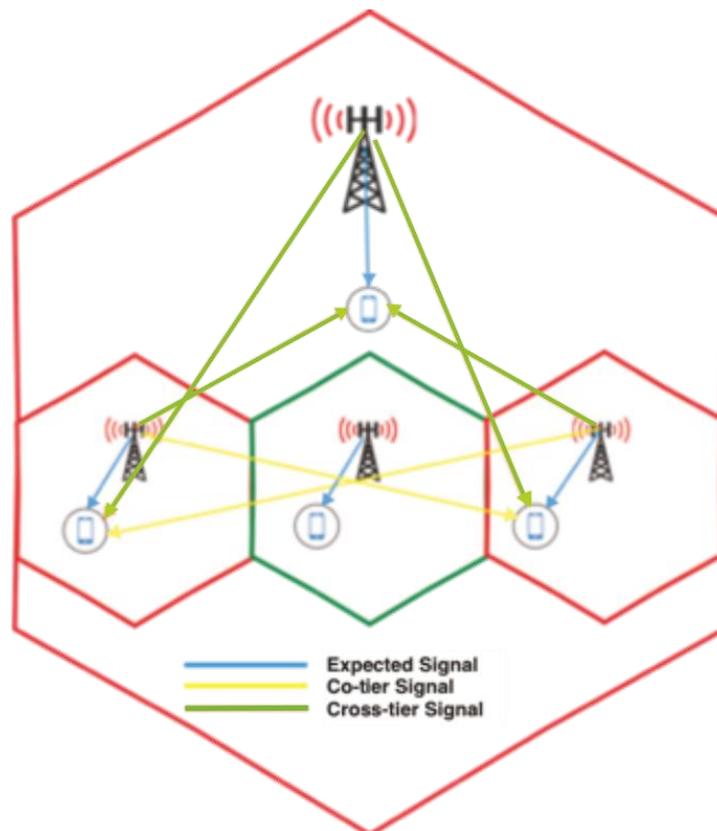
K = konstanta Boltzmann ($1,3803 \times 10^{-23}$ J/K),

T = temperatur absolut (K), pada suhu ruang, $T = 290^\circ$ K

2.6.2 Interferensi

Interferensi merupakan sebuah gangguan yang diterima oleh sebuah perangkat dari aktivitas pemancar dari perangkat lain yang tidak diinginkan. Interferensi

dapat terjadi ketika terjadi penggunaan bersama spektrum frekuensi disebut sebagai interferensi *Co-Channel*. Pada Gambar 2.9 terlihat bahwa dalam sebuah jaringan seluler, interferensi yang terjadi antara sel satu dengan sel lainnya yang memiliki radius yang sama disebut juga interferensi *co-tier* atau dengan radius yang berbeda disebut juga interferensi *cross-tier*.



Gambar 2. 9 Ilustrasi Interferensi Jaringan Seluler

2.6.3 Daya Terima *User Equipment*

Daya terima merupakan daya yang diterima oleh UE dari sebuah pemancar dari sebuah *base station*. Daya terima atau P_{Rx} berbanding lurus dengan daya pancar dan dikurangi oleh rugi-rugi transmisi. Rumus daya terima dapat dilihat pada rumus (2.3) dan (2.4) di bawah ini:

$$P_{Rx} = EIRP - L \quad (2.3)$$

Kemudian,

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - CL - L \quad (2.4)$$

Di mana:

P_{Rx} = Daya Terima (dBm)

$EIRP$ = *Effective Isotropically Radiated Power* (dBm)

P_{Tx} = Daya Tancar (dBm)

G_{Tx} = Gain Antena Pemancar (dB)

CL = *Cable Loss* (dB)

L = *Path Loss* (dB)

Dari persamaan di atas terdapat *Pathloss* (L) yang merupakan rugi-rugi pada proses transmisi yang disebabkan oleh kondisi lingkungan dan melamahnya daya yang dibangkitkan ketika ditransmisikan pada media udara. Pada penelitian ini, wilayah yang dipilih adalah pada wilayah urban dan di dalam sebuah gedung. Persamaan *pathloss* pada penelitian ini dapat dilihat pada persamaan (2.5) dan (2.6) di bawah ini [22].

Untuk *Femtocell* dan *Microcell* ke UE *Femtocell*:

$$L_{Femtocell} = 38.46 + 20 \log_{10}(R) + 0.7 D \quad (2.5)$$

Untuk *Microcell* ke UE *Femtocell* :

$$L_{Microcell} = 2.7 + 42.8 * \log_{10}(R) + D \quad (2.6)$$

Di mana, R merupakan jarak antara *base station* dengan UE dalam satuan Km dan untuk D merupakan rugi-rugi redaman tembok.

2.7 Throughput

Throughput merupakan kecepatan transfer data maksimum yang dimiliki oleh sebuah sistem. Menentukan nilai *Throughput* bisa didapatkan dengan pendekatan teorema Shannon *Capacity* di bawah ini [23]:

$$C = Bw \cdot \log_2(1 + SINR) \quad (2.7)$$

Di mana,

C = Kapasitas Maksimum *Channel* (bit / detik)

Bw = *Bandwith Channel* dalam Hertz,

S = Kekuatan Sinyal dalam Watt,

I = Interferensi dari Transmisi Lain dalam Watt

N = Daya *Noise* (watt).

2.8 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate atau BER berhubungan dengan jumlah bit yang mengalami kesalahan dalam proses demodulasi yang dilakukan, hal ini terjadi karena adanya kerusakan pada proses transmisi data yang dilakukan. Proses transmisi data yang dilakukan mengalami masalah seperti interferensi, gangguan derau (*noise*), distorsi, atau kesalahan sinkronisasi bit. Berikut merupakan persamaan (2.8) untuk menentukan BER pada modulasi-QAM (M-QAM) [24].

$$BER^{M-QAM} = \frac{2}{\log_2 M} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right] Q \left(\sqrt{\frac{3}{2(M-1)}} \frac{E_s}{N_o} \right) \quad (2.8)$$

Sehingga untuk modulasi 16-QAM didapatkan rumus seperti persamaan (2.9) di bawah ini.

$$BER = \frac{3}{4} Q \left(\sqrt{\frac{4}{5}} \frac{E_b}{N_o} \right) \quad (2.9)$$

2.9 CDF (*Cumulative Distribution Function*) dan CCDF (*Complementary Cumulative Distribution Function*)

CDF merupakan probabilitas dari nilai variabel acak X bernilai kurang dari atau sama dengan suatu nilai konstanta x yang telah ditentukan atau titik x dari variabel acak X di mana nilai probabilitas dievaluasi atau dihitung. Secara matematis CDF dapat didefinisikan pada Persamaan 2.10.

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (2.10)$$

Di mana:

$F(x)$ = CDF dari nilai SINR sama dengan x ,

x = Nilai parameter konstanta x yang ditentukan,

$P(X \leq x)$ = Probabilitas nilai SINR kurang dari atau sama dengan x .

CCDF merupakan komplemen dari CDF, yang berarti sebuah probabilitas nilai variabel acak X akan mengambil nilai yang lebih besar dari suatu nilai konstanta x yang telah ditentukan (titik evaluasi x). Secara matematis CCDF dapat didefinisikan pada Persamaan 2.11.

$$F'(x) = P(X < x) \quad (2.11)$$

Di mana:

$F'(x)$ = CCDF dari nilai SINR sama dengan x ,

x = Nilai parameter konstanta x yang ditentukan,

$P(X < x)$ = Probabilitas nilai SINR kurang dari x .

Dari Persamaan 2.10 dan Persamaan 2.11, hubungan antara CDF dan CCDF dapat dituliskan pada persamaan di bawah ini.

$$\text{CDF} = 1 - \text{CCDF} \quad (2.12)$$

di mana:

CDF : *Cumulative Distribution Function*,

CCDF : *Complementary Cumulative Distribution Function*.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat penelitian dan pengerjaan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Waktu : November 2020 – April 2021

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

Adapun Tabel jadwal pelaksanaan penelitian sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Jenis Kegiatan	Bulan ke-					
		1	2	3	4	5	6
1.	Studi Literatur						
2.	Inisiasi dan Perencanaan Algoritma						
3.	Pemodelan Simulasi pada MATLAB						
4.	Analisis dan pengujian program						
5.	Penulisan laporan penelitian/Skripsi						

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

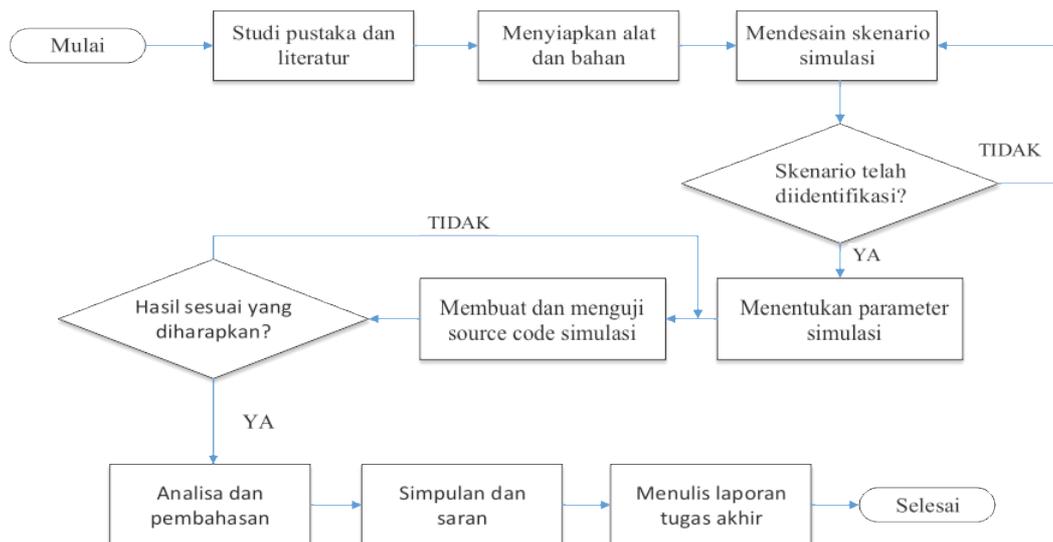
1. Satu buah personal computer;
2. *Software* MATLAB.

3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tahapan kerja yang akan dilaksanakan agar penelitian ini tercapai pada tujuan yang sudah dibuat pada Bab I Pendahuluan. Adapun tahapan kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut.

3.3.1 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

Diagram alir pengerjaan skripsi ini pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

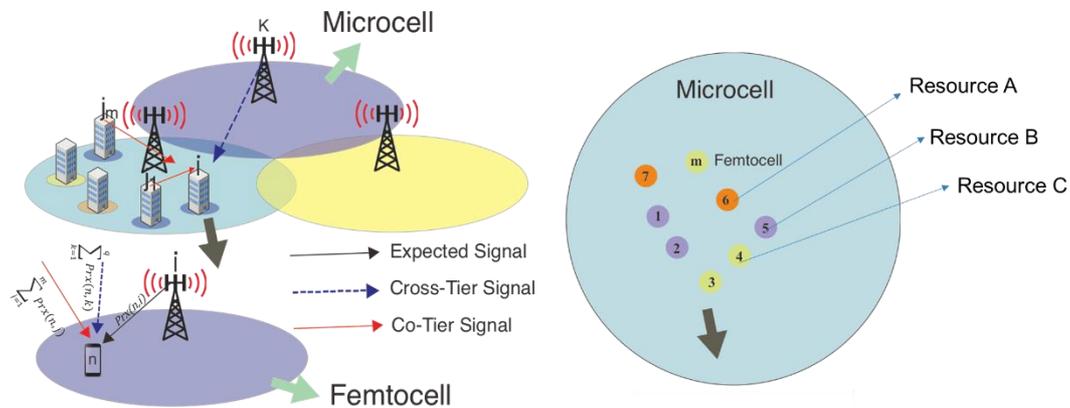
3.3.1 Studi Literatur

Sebelum mengerjakan skripsi dan penelitian ini dilakukan studi literatur yang bertujuan mencari ide, referensi, dan penelitian yang berkaitan agar terciptanya suatu penelitian yang baik. Pencarian literatur bersumber pada buku, jurnal, *e-book*, atau sumber lainnya yang tertera pada internet. Berikut merupakan literatur yang berkaitan dengan penelitian ini:

1. Konsep dasar jaringan seluler;
2. Konsep dasar teknologi 4G-LTE;
3. Konsep dasar mengenai akses jamak OFDMA pada sisi *Downlink*;
4. Konsep dasar mengenai *Resource Block* pada akses jamak OFDMA;
5. Konsep dasar menentukan nilai interferensi, *pathloss*, *Throughput*, BER (*Bit Error Rate*), *noise*, dan SINR;
6. Konsep dasar mengenai klusterisasi pada jaringan seluler.

3.3.2 Pemodelan Sistem

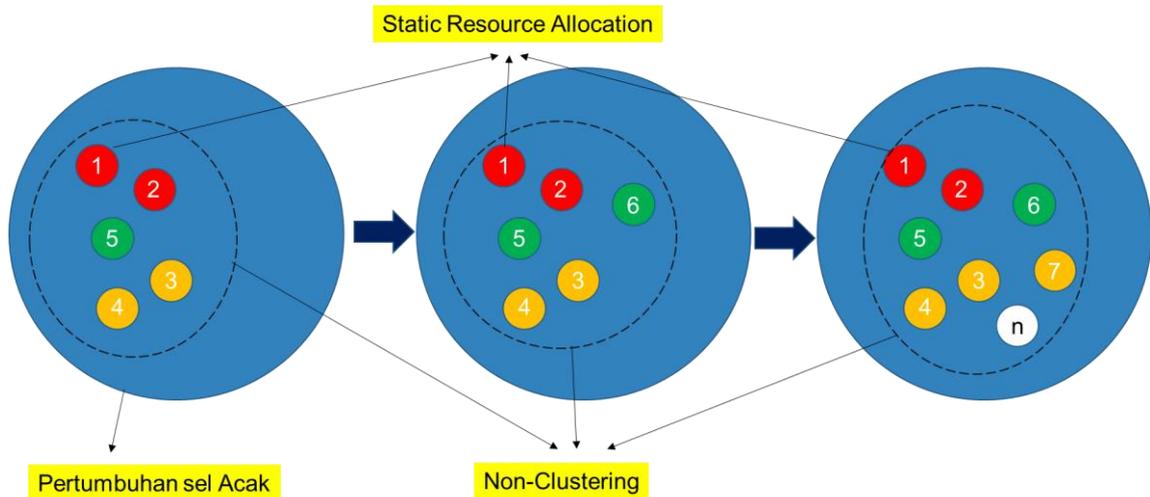
Sebelum melakukan penelitian, penulis membuat asumsi dan hipotesis mengenai masalah dan penyelesaian yang terjadi pada kasus yang ingin dikembangkan. Pada penelitian ini kasus yang akan dikembangkan yaitu interferensi yang terjadi pada wilayah perkotaan dengan *Ultra-Dense Network* yang menyebabkan menurunnya nilai *Throughput* dan SINR yang berdampak pada kenyamanan penggunaan layanan jaringan seluler menjadi terganggu. Penulis akan mencoba mencari solusi untuk meningkatkan nilai SINR, nilai *Throughput*, dan menurunkan nilai *Bit Error Rate*.



Gambar 3. 2 Gambaran Umum Simulasi

Model sistem pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 adalah terdapat 3 buah *microcell* yang berdekatan dan memiliki spektrum frekuensi yang berbeda. Terdapat *Femtocell* yang jumlahnya meningkat hingga 120 *Femtocell* secara acak di dalam satu buah *microcell* yang sedang ditinjau dan diasumsikan *Femtocell* terdapat di dalam sebuah gedung. Akses yang diperhatikan hanya pada sisi *downlink* akses jamak OFDMA dengan 3 *Resource Allocation* yang berbeda dan *bandwith* yang diberikan sebesar 20 MHz. Pada model sistem ini terdapat 2 skenario yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

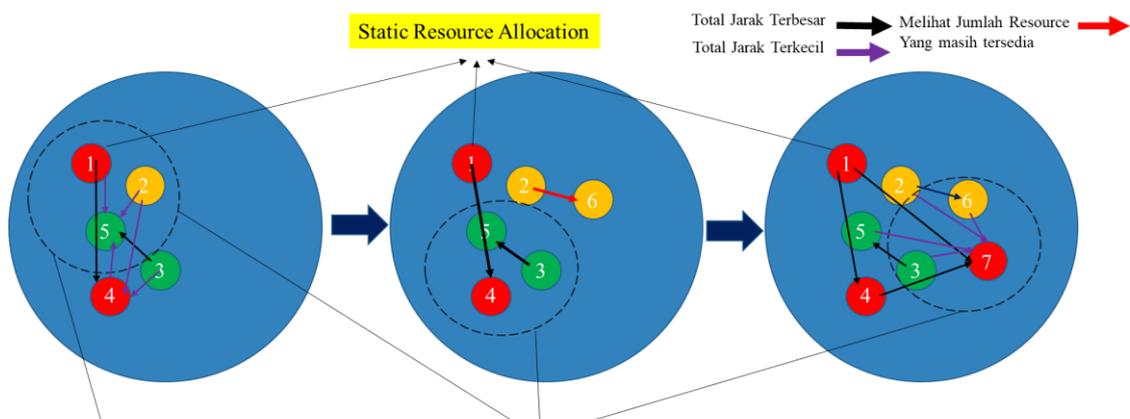
- a. Skenario 1 ditunjukkan pada Gambar 3.3. Terdapat 3 buah *Microcell* dengan *frequency Reuse* faktor 3 yang di dalamnya terdapat *Femtocell* yang terus bertambah sampai 120 *Femtocell* dengan tidak dilakukan klusterisasi secara spesifik, namun memiliki *frequency Reuse* faktor 3. Klusterisasi secara acak dengan *radio resource allocation* bersifat *static* sebesar 20 MHz.



Gambar 3. 3 Skenario 1

Pada Gambar 3.3 dicontohkan untuk jumlah *femtocell* 4 hingga *femtocell* berjumlah 7 namun proses tersebut akan berlanjut hingga jumlah *femtocell* sebanyak n ($n=120$ pada kasus penelitian ini). Terlihat pada gambar posisi penambahan *femtocell* terjadi secara acak dan pemberian *resource allocation* dilakukan secara acak tanpa memperhatikan atau mempertimbangkan suatu parameter. Hal ini dapat menyebabkan satu *resource allocation* dengan *resource allocation* yang lainnya berdekatan satu sama lain pada penggunaannya. Maka tidak terlihat pola klusterisasi pada konsep UDN tersebut.

- b. Skenario 2 ditunjukkan pada Gambar 3.4. Terdapat 3 buah *Microcell* dengan *frequency Reuse* faktor 3 yang di dalamnya terdapat *Femtocell* yang terus tumbuh sampai 120 *Femtocell* dengan klusterisasi pada *frequency Reuse* faktor



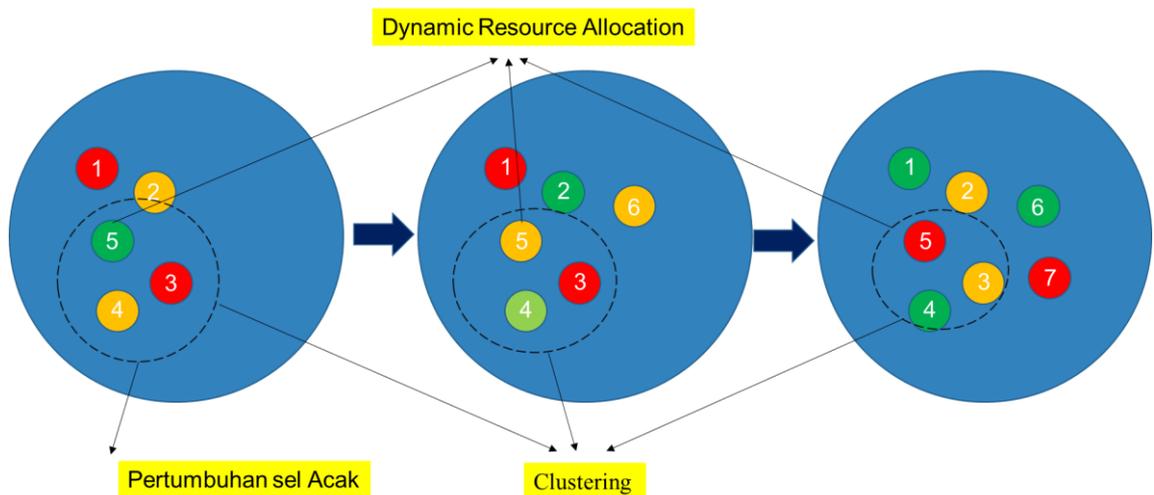
Gambar 3. 4 Skenario 2

3. Pada skenario 2 ini dilakukan klusterisasi dengan parameter nilai jarak antar *Femtocell* dengan *Radio resource allocation* bersifat *static* sebesar 20 MHz.

Pada Gambar 3.4 dicontohkan untuk jumlah *femtocell* 4 hingga *femtocell* berjumlah 7 namun proses tersebut akan berlanjut hingga jumlah *femtocell* sebanyak 120 (parameter jumlah *femtocell* pada penelitian ini). Terdapat anak panah berwarna hitam adalah menunjukkan jarak terbaik dengan parameter total jarak terjauh dari *femtocell* yang sedang ditinjau maka *resource allocation* yang diberikan adalah sama dengan *femtocell* yang sedang ditinjau. Anak panah berwarna ungu menunjukkan jarak terburuk dengan parameter total jarak terpendek dari *femtocell* yang sedang ditinjau maka *resource allocation* yang diberikan adalah berbeda dengan *femtocell* yang sedang ditinjau. Sedangkan untuk anak panah berwarna merah merupakan *resource allocation* yang diberikan berdasarkan *resource allocation* yang belum digunakan ketika seluruh *femtocell* dapat dibagi rata terhadap 3 *resource allocation* tersebut. Sebagai contoh untuk *femtocell* ke-6 diberikan *resource allocation* sama seperti yang dimiliki *femtocell* ke-2 dikarenakan hanya *resource allocation femtocell* ke-2 yang belum memiliki jumlah *femtocell* berjumlah 2, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.

- c. Skenario 3 ditunjukkan pada Gambar 3.5. Terdapat 3 buah *Microcell* dengan *frequency Reuse* faktor 3 yang di dalamnya terdapat *Femtocell* yang terus tumbuh sampai 120 *Femtocell* dengan klusterisasi pada *frequency Reuse* faktor 3. Pada Gambar 3.5 terlihat dilakukan klusterisasi dengan *frequency Reuse* faktor 3 pada *Femtocell* yang terus bertambah dengan konsep *Dynamic*

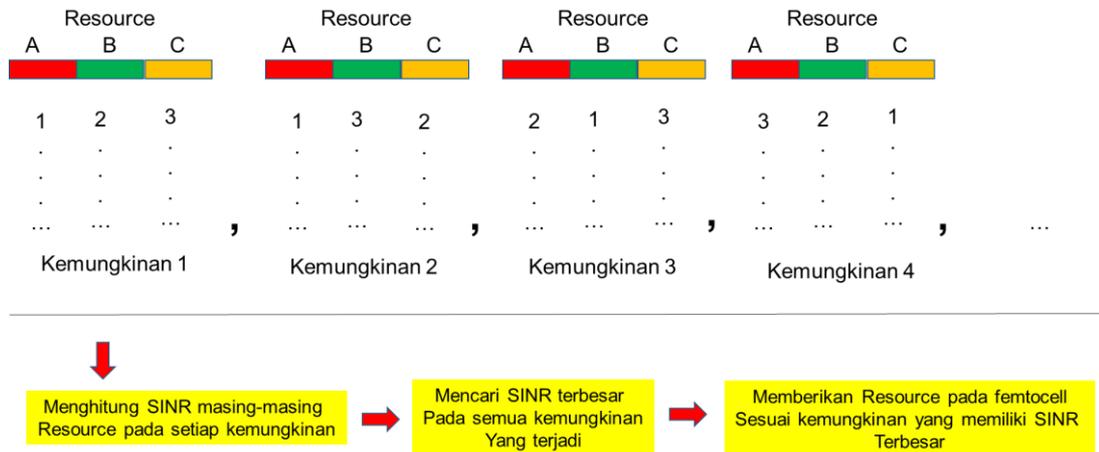
Resource allocation berdasarkan pengambilan nilai SINR terbesar pada semua kemungkinan penggunaan *frequency Reuse* yang terjadi pada setiap bertambahnya jumlah *Femtocell*. Klusterisasi dengan parameter nilai SINR tertinggi dengan *Radio resource allocation* bersifat *dynamic* sebesar 20 MHz.



Gambar 3. 5 Skenario 3

Pada Gambar 3.5 dicontohkan untuk jumlah *femtocell* 4 hingga *femtocell* berjumlah 7 dan proses tersebut akan berlanjut hingga jumlah *femtocell* sebanyak 120. Terlihat bahwa setiap kali terdapat *femtocell* baru maka *resource allocation* yang diberikan pada *femtocell* yang sebelumnya bisa saja berubah. Konsep inilah yang penulis namai sebagai *Dynamic Resource Allocation*. Pada dasarnya konsep ini diawali dengan melakukan inisialisasi seluruh kombinasi pasangan *resource allocation* yang dapat dilakukan pada jumlah *femtocell* tertentu. Kemudian seluruh kombinasi tersebut dihitung berapa nilai SINR yang didapatkan. Setelah itu mengambil format kombinasi berdasarkan nilai SINR terbesar. Hal ini dilakukan berulang-ulang seiring terjadinya penambahan *femtocell* baru. Hal ini jugalah yang menyebabkan *Resource Allocation* akan berubah seiring bertambahnya jumlah

femtocell. Pada Gambar 3.6 di bawah ini terlihat contoh ketika *femtocell* berjumlah 3 dan algoritma akan mengambil seluruh kemungkinan kombinasi pemberian



Gambar 3. 6 Contoh Konsep Skenario 3

resource allocation yang terjadi. Pada kondisi tersebut ada empat kemungkinan yang terjadi. Dari semua kemungkinan tersebut masing-masing kemungkinan akan dihitung nilai SINR dari masing-masing *resource allocation* tersebut. Setelah itu algoritma akan mengambil satu kombinasi dengan nilai SINR terbesar sebagai kombinasi yang digunakan pada situasi tersebut.

Setelah melakukan semua proses skenario dari penjelasan di atas, hasil yang akan didapatkan berupa tabel yang berisi hasil dari masing-masing nilai SINR, *Throughput*, dan BER pada setiap *frequency Reuse (resource)* pada setiap skenario. Kemudian hasil tersebut akan dibandingkan pada sebuah plot grafik hubungan antara nilai SINR, *Throughput*, dan BER terhadap jumlah *Femtocell*. Kemudian juga dilakukan analisis dengan grafik *Cumulative Distribution Function* pada nilai SINR, *Throughput*, dan *Complementary Cumulative Distribution Function* pada BER.

3.3.3 Parameter Sistem

Adapun tabel parameter sistem yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

No.	Parameter	Nilai/Keterangan
1	Radius	
	a. Microcell [12]	1 Km
	b. Femtocell [12]	20 m
2	Daya Pancar	
	a. Microcell [12]	42 dBm
	b. Femtocell [12]	16 dBm
3	Bandwith per PRB [17]	180 kHz
4	Bandwidth [17]	20 MHz
5	Maksimum PRB per User [17]	110 PRB
6	Jumlah sel	
	b. Microcell	3
	c. Femtocell	{1,...,120}
7	Pathloss [22]	3GPP 36.814
8	Modulasi	16-QAM
9	Tinggi Antena Base Station	
	a. Microcell	20 m
	b. Femtocell	3 m
10	Tinggi Antena Mobile	1,5 m
11	Wall Loss [25]	15 dB

Tabel 3. 2 Parameter Sistem

3.3.4 Perhitungan Sistem

Adapun perhitungan pada skenario yang akan dilakukan meliputi *pathloss*, daya terima oleh *user* dari BS asal ($P_{Rx}(n,i)$), daya interferensi yang diterima *user* $P_{Rx}(n,j)$, $P_{Rx}(n,k)$, Noise (N_0), *Signal to Interference plus Noise Ratio* ($SINR_{(n)}$), *Throughput*, dan *Bit Error Rate* (*BER*).

a. *Pathloss*

Perhitungan *pathloss* sesuai dengan standarisasi 3GPP 36.814 [22] sebagai berikut:

Untuk *Femtocell* dan *Microcell* ke UE *Femtocell*:

$$L_{Femtocell} = 38.46 + 20 \log_{10}(R) + 0.7 D \quad (3.1)$$

Untuk *Microcell* ke UE *Femtocell* :

$$L_{Microcell} = 2.7 + 42.8 * \log_{10}(R) + D \quad (3.2)$$

b. Daya Terima

Daya terima *user* dari BS asal sebagai berikut:

$$P_{Rx}(n,i) = EIRP - L \quad (3.3)$$

$$P_{Rx}(n,i) = PTx(i) + GTx(i) - CL(i) - L_{Femtocell} \quad (3.4)$$

Daya interferensi yang diterima *user* sebagai berikut:

$$P_{Rx}(n,j) = EIRP - L \quad (3.5)$$

Untuk *Co-Tier*,

$$P_{Rx}(n,j) = \sum_{j=1}^m (PTx(j) + GTx(j) - CL(j) - L_{Femtocell}) \quad (3.6)$$

Untuk *Cross-Tier*,

$$P_{Rx}(n,k) = PTx(k) + GTx(k) - CL(k) - L_{Microcell} \quad (3.7)$$

c. Noise

Noise yang digunakan adalah noise termal dengan rumus sebagai berikut:

$$No = kT \cdot BW_{(20 MHz)}$$

d. *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR)

Adapun perhitungan SINR sebagai berikut:

$$SINR_{(n)} = \frac{P_{Rx}(n,j)}{\sum_{i=1}^m Prx(n,j) + Prx(n,k) + No} \quad (3.8)$$

e. *Throughput*

Adapun perhitungan *Throughput* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

$$C = Bw \log_2(1 + SINR_{(n)}) \quad (3.9)$$

f. *Bit Error Rate*

Adapun perhitungan *Bit Error Rate* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

$$BER = \frac{3}{4} Q \left(\sqrt{\frac{4}{5} E_b / No} \right) \quad (3.10)$$

Di mana:

$L_{Femtocell}$ = *Pathloss* FeNB ke FeNB (dB)

$L_{Microcell}$ = *Pathloss* MicroNB ke FeNB (dB)

R = Jarak BS ke User (m)

$P_{Rx}(n,i)$ = Daya terima user (n) dari BS/FeNB yang diharapkan (i) (dBm)

$P_{Rx}(n,k)$ = Daya terima user (n) dari MicNB yang tidak diharapkan (k) (dBm)

$P_{Rx}(n,j)$ = Daya terima user (n) dari FeNB yang tidak diharapkan (j) (dBm)

$P_{Tx}(i)$ = Daya pancar FeNB (i) (dBm)

$P_{Tx}(j)$ = Daya pancar FeNB (j) (dBm)

$P_{Tx}(k)$ = Daya pancar MicroNB (k) (dBm)

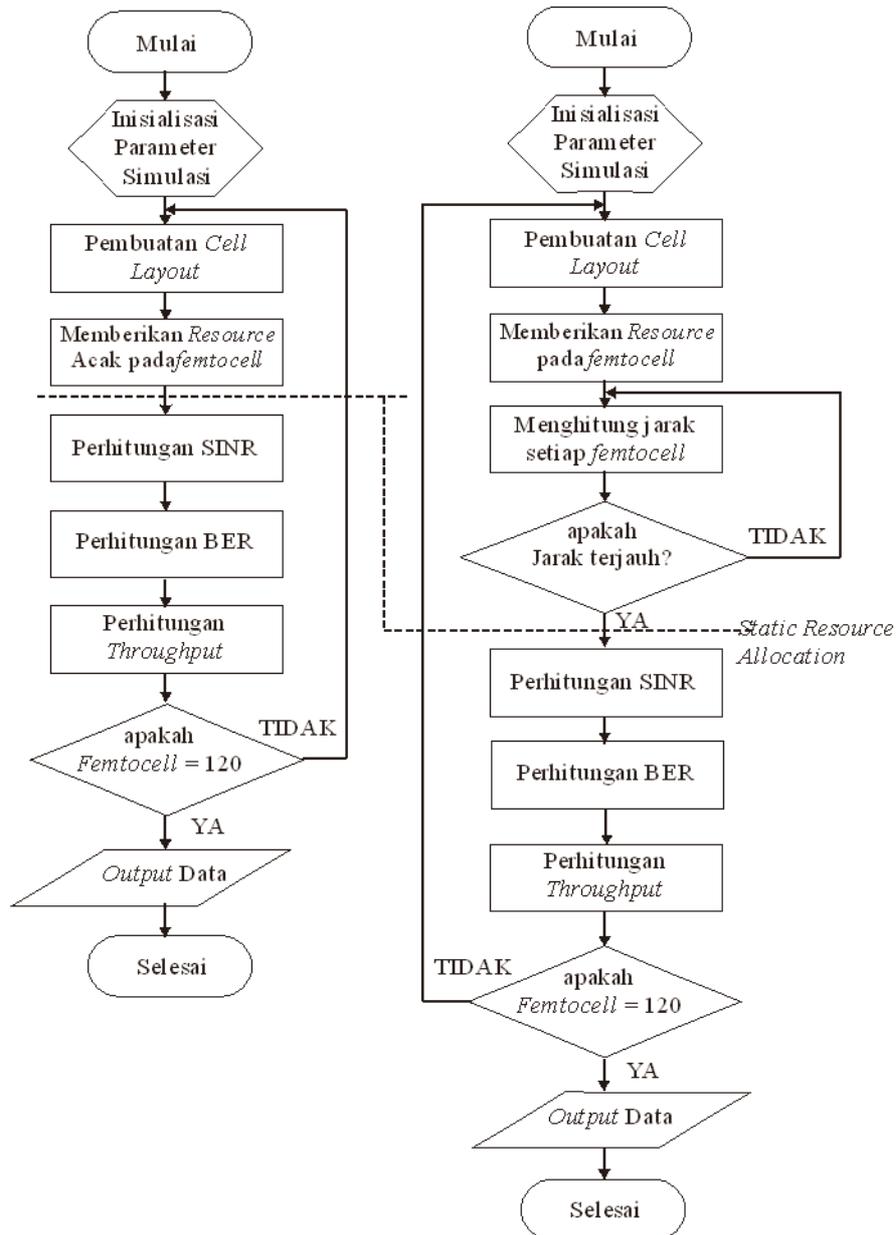
D = Rugi-rugi dinding (dB)

SINR = *Signal to Interference plus Noise Ratio*

No = *Noise* Termal (w)

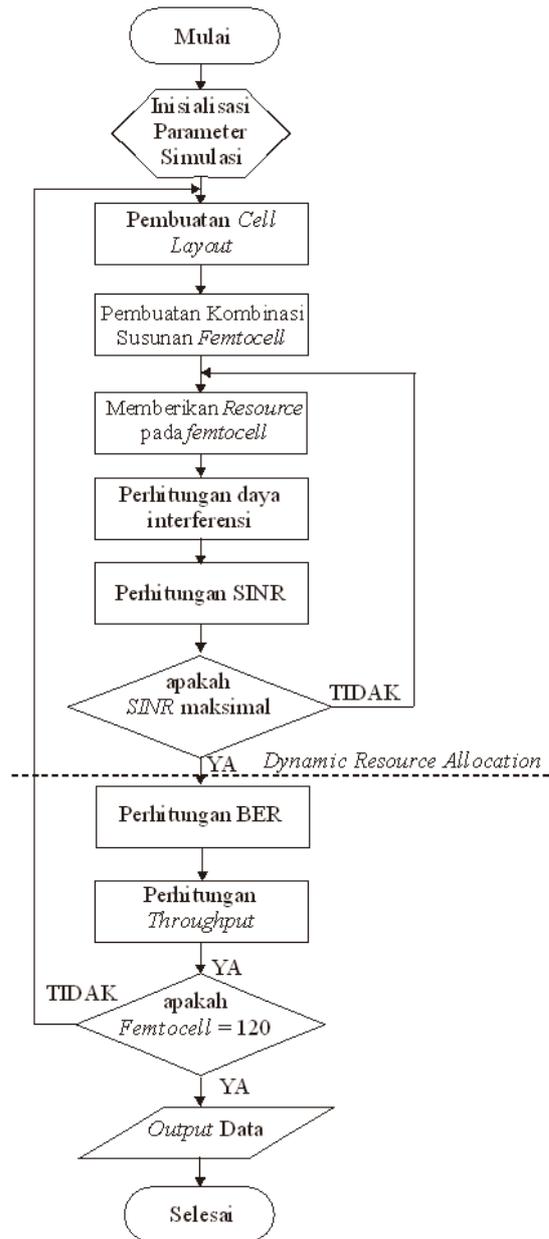
3.3.4 Diagram Simulasi Sistem

Adapun diagram simulasi sistem ditunjukkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7



sebagai berikut.

Gambar 3. 7 Diagram Simulasi Sistem, (a) Skenario 1 dan (b) Skenario 2.



Gambar 3. 8 Diagram Simulasi Sistem Skenario 3

3.3.4 Pemodelan Algoritma Simulasi Sistem

Berikut merupakan pemodelan algoritma simulasi sistem pada setiap skenario yang akan dilakukan.

3.3.4.1 Skenario 1

Berikut merupakan alur algoritma pada skenario 1 yang akan dilakukan:

```

Program Start
Initialize Microcell
Loop
  For
    Initialize Femtocell (1,n,120)
    Initialize random Resource A, B, C
  End
  For
    Calculate Distance
    If Femtocell = A
      Distance Femtocel Ax - Ay
    If Femtocell = B
      Distancae Femtocell Bx - By
    Else Femtocell = C
      Distance femtocell Cx - Cy
    End
  For
    Calcultae pathloss,
    Calculate pathloss Resource A,B,C
    If femtocell x=y
      Pathloss distance 20 meter
    Else
      Pathloss distance Femtocell X - y
    End
  End
  For
    Calculate recieve power resource A, B, C
     $Pr = EIRP - Pathloss$ 
  End
  For
    Collect nterfence power resource A, B, C
    If femtocell x=y
      Interference = 0
    Else
      Interference = total Pr
  End
  For
    Collect Desired power A,B, C
    If femtocell x=y
      Desired Power = Pr
    Else
      Desired Power = 0
  End
  For
    Calculate SINR resource A,B, C
     $SINR = Desired\ power / Interference\ Power$ 
  End
For

```

Calculate Thoroughput and BER
 End
 End

3.3.4.2 Skenario 2

Berikut merupakan alur algoritma pada skenario 2 yang akan dilakukan:

```

Program Start
Initialize Microcell
Loop
  For
    Collect Femtocell Matrix from Scenario 1 (1,n,120)
    If x=1
      Matrix Resource A = Femtocell 1
    ElseIf x=2
      Matrix Resource B = Femtocell 2
    ElseIf x=3
      Matrix Resource c = Femtocell 3
    ElseIf X>3
      Loop
        For
          Calculate Distance Femto X – All Femto Resource A
          Calculate Distance Femto X –All Femto Resource B
          Calculate Distance Femto X – All Femto Resource A
        End
        For
          Find biggest distance value For femto X
          Find Coordinate distance femto X Value
        End
        For
          If biggest distance value For femto X == Femto X – All Femto Resource A
            Index = 1
          ElseIf biggest distance value For femto X = Femto X – All Femto Resource A
            Index = 2
          ElseIf biggest distance value For femto X = Femto X – All Femto Resource A
            Index = 3
          End
          For
            If index = 1
              Matrix Resource A = femtocel X
            ElseIf index = 2
              Matrix Resource B = femtocel X
            ElseIf index = 3
              Matrix Resource B = femtocel X
            End
          End
        End
      End
    End
  For
    Calculate Distance
    If Femtocell = A
      Distance Femtocel Ax -Ay
    If Femtocell = B
      Distancae Femtocell Bx – By
    Else Femtocell = C
      Distance femtocell Cx – Cy
    End
  For
    Calcultae pathloss,
    Calculate pathloss Resource A,B,C
    If femtocell x=y
      Pathloss distance 20 meter
  End

```

```

                Else
                    Pathloss distance X – y
                End
            End
        For
            Calculate receive power resource A, B, C
            Pr = EIRP – Pathloss
        End
        For
            Collect interference power resource A, B, C
            If femtocell X=y
                Interference = 0
            Else
                Interference = total Pr
            End
        For
            Collect Desired power A,B, C
            If femtocell X=y
                Desired Power = Pr
            Else
                Desired Power = 0
            End
        For
            Calculate SINR resource A,B, C
            SINR = Desired power / Interference Power
        End
        For
            Calculate Thoroughput and BER
        End
    End
End

```

3.3.4.3 Skenario 3

Berikut merupakan alur algoritma pada skenario 3 yang akan dilakukan:

```

Program Start
Initialize Microcell
Loop
    For
        initialize all sequences of events = Permutation
    End
    For (Number of Orders (Permutation))
        For
            Collect Femtocell Matrix from Scenario 1 (1,n,120)
        End
        For (Permutation)
            Calculate Distance
            If Femtocell = A
                Distance Femtocel Ax -Ay
            If Femtocell = B
                Distancae Femtocell Bx – By
            Else Femtocell = C
                Distance femtocell Cx – Cy
            End
        For
            Calcultae pathloss,
            Calculate pathloss Resource A,B,C
            If femtocell x=y
                Pathloss distance 20 meter
            Else
                Pathloss distance X – y
            End
        End
    End
End

```

```

For
    Calculate receive power resource A, B, C
     $Pr = EIRP - Pathloss$ 
End
For
    Collect interference power resource A, B, C
    If femtocell  $x=y$ 
        Interference = 0
    Else
        Interference = total Pr
    End
For
    Collect Desired power A,B, C
    If femtocell  $X=y$ 
        Desired Power = Pr
    Else
        Desired Power = 0
    End
For
    Calculate SINR resource A,B, C
     $SINR = Desired\ power / Interference\ Power$ 
End
For
    Find Biggest SINR Value from All Loop data
    Find Coordinate Biggest SINR Value
End
For
    Calculate Throughput and BER
End
End
End

```

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berikut merupakan simpulan yang dapat diambil berdasarkan pada analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya sebagai berikut:

1. Teknik *Clustering* dan *Dynamic Resource allocation* mampu meningkatkan nilai SINR hingga 4 dB dan nilai *Throughput* hingga 24 Mbps serta memiliki selisih nilai BER hingga 0,05;
2. Secara keseluruhan berdasarkan analisis nilai CDF pada nilai SINR dan *Throughput*, Teknik *Clustering* dan *Dynamic Resource allocation* memiliki nilai SINR dan *Throughput* lebih baik pada jumlah *Femtocell* rendah hingga jumlah *Femtocell* 120;
3. Pada simulasi, hanya Skenario 3 yang tidak memiliki nilai SINR di bawah 10 dB. Sedangkan untuk skenario 1 memiliki 32% dan skenario 2 memiliki 27% SINR di bawah 10 dB. Titik tertinggi nilai SINR yang diperoleh yaitu di atas 35 dB pada skenario 3;
4. Pada simulasi, hanya skenario 3 yang tidak memiliki nilai *Throughput* di bawah 80 Mbps. Sedangkan untuk skenario 1 memiliki 48% dan skenario 2 memiliki 45% *Throughput* di bawah 80 Mbps. Titik tertinggi nilai

Throughput yang diperoleh yaitu di atas 230 Mbps pada skenario 3, sedangkan skenario 1 dan 2 di bawah 220 Mbps;

5. Pada simulasi, hanya skenario 3 yang tidak memiliki nilai BER di atas 0,001. Sedangkan untuk skenario 1 dan skenario 2 memiliki 97% BER di atas 0,001.

5.2 Saran

Adapun saran penulis untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah *Femtocell* dan user lebih banyak lagi untuk mensimulasikan keadaan UDN lebih baik lagi;
2. Teknik yang digunakan pada penelitian selanjutnya kombinasi antara teknik *Dynamic resource allocation* dan *Power Control*. Teknik *Power Control* biasa digunakan juga pada manajemen interferensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. D. Wicaksono, "10 Negara ini Punya Jumlah Pengguna Smartphone Terbanyak di Dunia", 2019. [Online]. Available: <https://www.idntimes.com/tech/gadget/abraham-herdyanto/negara-dengan-jumlah-pengguna-smartphone-terbesar/full>. [Accessed 10 Desember 2019].
- [2] T. S. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice", ISBN:0-13-04222-0, Virginia: Prentice Hall, 2002.
- [3] T. Dyeng, "Cell *Clustering*-based *Resource allocation* in *Ultra-Dense Network*", 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications, Dec 13-16, 2017, Chengdu, China. 2018.
- [4] CT-EARTH. D2.3, "Energy *Efficiency* Analysis of the Reference Systems, Areas of Improvements and Target Breakdown", EARTH Project Deliver, Tech. Rep. Dec 2010.
- [5] A. D. Maria, "A Radio *Resource* Management Scheme in future Ultra-Dense Phantom Networks", IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Oct 9-11. 2017, Rome, Italy, 2017.
- [6] S. M. Sari, "Simulasi dan Analisis Algoritma Pengalokasikan *Resource Block* Berbasis QoS Guarantee pada Sistem Long Term Evolution", e-Proceeding of Engineering, ISSN: 2355-9365, 2015.

- [7] W.Yao, “Interference Management Scheme of Ultra Dense Network Based on *Clustering*”, Infomation Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, Dec 15-17, 2017, Chengdu, China. 2018.
- [8] S. Shuangshuang and L. Hui, ” Downlink Interference Rejection in Ultra Dense Network”, 10th International Conference on Communication Software and Networks., July 6-9, 2018, Cengdu, China, 2018.
- [9] C. Jiaqi and P. Tao, “Resource Allocation for Ultra-Dense Networks with Machine Learning Based Interference Graph Construction”, IEEE Internet of Things Journal, Vol. 9, pp. 2137 – 2151, December 2019.
- [10] P. Juan and Z. Jie, “A QoS-Based Cross-Tier Cooperation Resource Allocation Scheme Over Ultra-Dense HetNets”, IEEE Access, Vol. 7, pp. 27086 – 27096, February 2019.
- [11] C. Xin and L. Zhiyong, “Mobile Edge Computing Based Task Offloading and Resource Allocation in 5G Ultra-Dense Networks”, IEEE Access, Vol.7, pp. 184172 – 184182, December 2019.
- [12] L. Qian and G. Chuai, “Proactive Mobility Management with Trajectory Prediction based on Virtual Cells in Ultra-dense Networks”. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 69, pp. 8832 – 8842, May 2020.
- [13] Zhang, J. and G. de la Roch, “*Femtocells: Technologies and Deployment*”, John Wiley and Sons, Ltd. United Kingdom, ISBN: 978-0- 470-74298-3, 2010.

- [14] Anonim, "Cellular Network Architecture", June 2015. [Online]. Available: <https://www.coai.com/indian-telecom-infocentre/telecominfrastructurenetworks>. [Accessed 25 November 2019].
- [15] J. Zyren, "Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer", 3GPPEVOLUTIONWP, 2007.
- [16] "The Mobile Broadband Standard" 3GPP, June 2013. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>. [Accessed 25 November 2019].
- [17] Indunil, "Difference Between OFDM and OFDMA", July 2013. [Online]. Available: <https://www.differencebetween.com/difference-between-ofdm-and-vs-ofdma/>. [Accessed 25 November 2019].
- [18] Nam-Tran. L., "Energy-Efficient Resource Allocation for OFDMA Heterogeneous Networks", IEEE Transactions on Communications, Vol. 67, pp. 7043 – 7057, August 2019.
- [19] N. Tabia, A Gondran, "Interference Model and Evaluation in LTE Networks", 4th Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference, Oct 26-28. 2011, Toulouse, France, 2011.
- [20] Kolger, U., G. D. Galdo, A. Grosch and M. Haardt, "Quality of Services Oriented Spatial Processing in The Manhattan Grid", International ITG Workshop on Smart Antenas, Feb 26-27. 2008, Vienna, Austria, 2008.
- [21] V. K. Garg, Wireless Communications and *Networking*, San Francisco : 978-0-123-73580-5, 2007.
- [22] S. Vardhan, D. V. Ratnam, "Analysis of Path Loss Models of 4G Femtocells", Eleventh International Conference on Wireless and Optical

Communications Networks (WOCN), Sept 11-13. 2014, Vijayawada, India, 2014.

[23] J. Barry, “Equalization: Shannon Capacity”, 2016. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shanNon-capacity>.

[Accessed 25 November 2019].

[24] K. Song, A. Ekbal, S. T. Chung, and J. M. Cioffi, “Adaptive modulation and coding (AMC) For bit-interleaved coded OFDM (BIC-OFDM)”, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, pp. 1685–1694, July 2006.

[25] Anonim, “The Basic of Signa Attenuation”, 2016. [Online]. Available: <https://www.dataloggerinc.com/resource-article/basics-signal-attenuation/>.

[Accessed 10 Desember 2019].