

**ANALISIS UNJUK KERJA TEKNIK MANAJEMEN  
INTERFERENSI *FRACTIONAL FREQUENCY REUSE* (FFR)  
PADA JARINGAN HETEROGEN LTE-ADVANCED**

**SKRIPSI**

untuk memenuhi salah satu persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:**

**Muh Tri Nur Pamungkas**

**16524132**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

**2020**

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS UNJUK KERJA TEKNIK MANAJEMEN INTERFERENSI FRACTIONAL FREQUENCY REUSE (FFR) PADA JARINGAN HETEROGEN LTE-ADVANCED

TUGAS AKHIR

ISLAM

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Muh. Tri Nur Pamungkas

16524132

Yogyakarta, 20 Juli 2020

Menyetujui,

Pembimbing 1



Ida Nurcahyani, S.T., M.Eng.

155240104

# LEMBAR PENGESAHAN

## SKRIPSI

### ANALISIS UNJUK KERJA TEKNIK MANAJEMEN INTERFERENSI FRACTIONAL FREQUENCY REUSE (FFR) PADA JARINGAN HETEROGEN LTE-ADVANCED

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Muh. Tri Nur Pamungkas**

**16524132**

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 13 Agustus 2020

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Ida Nurcahyani S.T., M.Eng. 

Anggota Penguji 1: Dzata Farahiyah S.T., M.Sc. 

Anggota Penguji 2: Dr.Eng. Hendra Setiawan S.T., MT. 

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 25 Agustus 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D.

045240101

## PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 20 Juli 2020



Muh Tri Nur Pamungkas

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum Wr. Wb*

Puji syukur penulis panjatkan atas Kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia, hidayah serta syafaat bagi hamba-Nya yang masih dalam keadaan iman dan ikhsan.

Atas limpahan petunjuk dari Allah SWT, Skripsi yang berjudul " Analisis Unjuk Kerja Teknik Manajemen Interferensi *Fractional frequency reuse* (FFR) pada Jaringan Heterogen LTE-*Advanced* " ini dapat penulis selesaikan dengan baik. Skripsi ini merupakan persyaratan wajib yang ditempuh selaku mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang studi Strata 1.

Pengerjaan skripsi ini dilakukan secara lancar tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh sebab itu penulis sampaikan rasa hormat dan penuh rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Ida Nurcahyani, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan arahan, masukan serta bantuan hingga laporan Skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas segala bimbingan selama masa perkuliahan semenjak semester awal hingga semester akhir di Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Moh Rusly Rasyid dan Ibu Anggraeni Bakri selaku orang tuaku serta keluarga yang senantiasa memberikan semangat, terimakasih atas segala bimbingan, usaha, do'a dan kasih sayangnya.
5. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Elektro angkatan 2016 Universitas Islam Indonesia.
6. Teman-teman bimbingan yang membantu saya dalam mengerjakan skripsi (Bang Afif, Cisty dan Afif) yang telah mendukung dan mendo'akan saya untuk menyelesaikan skripsi ini terima kasih.
7. Teman-teman komunitas 1000 Guru Jogja (Mas sandi dan teman-teman) yang memberikan sangat banyak motivasi dan inspirasi untuk selalu berani bermimpi.
8. Teman-teman organisasi (HMTE dan LEM FTI) yang memberikan banyak pembelajaran.

9. Sahabat-sahabat rantau di Jogja (Afri, Cecep, Bagus, Syahrul, Zul, Abid, Fariz, Nizam, Septian, Hasbi Alvin, Anas, Rudi, Rudyan, dan lain-lain) yang memberikan banyak saran.
10. Sahabat-sahabat di Makassar (Faathir, Mujibul, Fajar, Saiyed, Ishaq, Fachrul, Ikhsan, Husnul, Danang dan lain-lain) yang memberikan banyak dukungan.
11. Semua pihak yang telah memberikan masukan, dorongan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.*



## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

3GPP	: <i>Third Generation Partnership Project</i>
BTS	: <i>Base transceiver station</i>
CCI	: <i>Co-Channel Interference</i>
FUE	: <i>Femtocell User Equipment</i>
FFR	: <i>Fractional frequency reuse</i>
GB	: <i>Giga Bytes</i>
Ghz	: <i>Giga Hertz</i>
HeNB	: <i>Home eNodeB</i>
HetNet	: <i>Heterogenous Network</i>
Hz	: <i>Hertz</i>
IMTS	: <i>International Mobile Telecommunications</i>
IEEE	: <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LTE	: <i>Long Term Evolution</i>
LTE-A	: <i>Long Term Evolution Advanced</i>
MeNB	: <i>Macro eNodeB</i>
MATLAB	: <i>Matrix Laboratory</i>
ICI	: <i>Intercell Interference</i>
Kbps	: <i>Kilo bit per second</i>
Mbps	: <i>Mega bit per second</i>
MUE	: <i>Macrocell User Equipment</i>
OFDM	: <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
QoS	: <i>Quality of Service</i>
SINR	: <i>Signal to Interference plus Noise Ratio</i>
UE	: <i>User Equipment</i>
UMTS	: <i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
WAN	: <i>Wide Area Network</i>

## ABSTRAK

Perkembangan dunia telekomunikasi pada saat ini dituntut memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi terhadap para pengguna. Salah satu teknologi yang menunjang dalam memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi yakni *Long Term Evolution* (LTE). Standar oleh 3GPP terus mengembangkan LTE hingga melakukan pembaruan dengan LTE *release* 10 yang disebut *LTE-Advanced* (LTE-A). LTE-A memungkinkan operator membuat *bandwidth* yang lebih besar dalam melakukan pelayanan dengan alokasi spektrum terpisah. LTE-A mempunyai kecepatan data transfer hingga 1 Gb/s serta standar minimal *bandwidth* yakni 20 MHz. Pada penelitian ini, LTE-A merupakan standar yang digunakan untuk jaringan *heterogeneous network* (HetNet). LTE-A pada HetNet berupa *macrocell* dan *femtocell* beroperasi pada saluran frekuensi yang sama. Akibatnya, *Co-Channel Interference* (CCI) terjadi. Interferensi pada jaringan HetNet dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yakni interferensi pada UE yang saling berdekatan sehingga menimbulkan interferensi dan interferensi yang terjadi antara *macrocell* dan *femtocell* pada saluran yang sama. Teknik manajemen interferensi FFR merupakan teknik yang mampu melakukan pembagian frekuensi sel menjadi beberapa bagian untuk mengatasi interferensi jaringan terkhususnya pada HetNet. Metode FFR yang digunakan merupakan metode FFR yang dikembangkan dimana mampu membagi sel menjadi 3 wilayah dimana setiap bagian wilayah dibagi menjadi beberapa sektor. Penelitian dilakukan dengan melakukan percobaan berupa pengukuran kinerja jaringan pada skenario *macrocell* dan *femtocell* dengan dan tanpa menggunakan metode FFR. Parameter kinerja jaringan yang digunakan pada penelitian yakni SINR, *channel capacity* dan *throughput*. Adapun hasil data dari percobaan skenario *macrocell* ditemukan selisih nilai 0,0004 dB, *channel capacity* memiliki selisih 0,0059 bps/Hz, serta total *throughput* 198,417 Mbps pada skenario *macrocell* dimana kinerja dengan implementasi metode FFR memiliki nilai kinerja lebih baik dibandingkan tanpa FFR. Sedangkan pada percobaan skenario *femtocell* ditemukan selisih nilai 1,0574 dB, *channel capacity* memiliki selisih 2898,9 bps/Hz, serta total *throughput* 5371,5 Mbps pada skenario *femtocell* dimana hal yang sama juga terjadi seperti percobaan sebelumnya yakni skenario *macrocell* dimana kinerja jaringan pada implementasi dengan metode FFR lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa metode FFR yang dapat dinyatakan dari hasil data perbandingan simulasi jaringan.

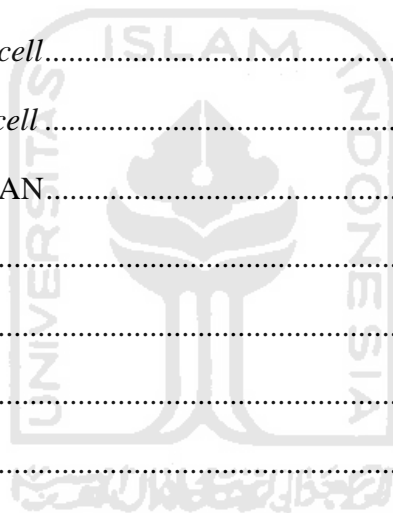
**Kata kunci:** LTE-A, HetNet, manajemen interferensi, FFR.



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Studi Literatur .....	4
2.2 Tinjauan Teori.....	6
2.2.1 <i>LTE Advanced</i> .....	6
2.2.2 <i>Heterogeneous Network</i> .....	6
2.2.3 Manajemen Interferensi .....	7
2.2.4 <i>Fractional Frequency Reuse</i> .....	8
2.2.5 MATLAB.....	9
BAB 3 METODOLOGI.....	10
3.1 Studi Literatur .....	10

3.2 Menginstal MATLAB.....	11
3.3 Merancang dan Memodifikasi Program.....	11
3.4 Membuat Simulasi Jaringan.....	13
3.4.1 Membuat Parameter Jaringan.....	14
3.4.2 Menentukan dan Menggabungkan Titik Koordinat <i>Cell</i> .....	16
3.4.3 Membuat <i>Heterogeneous network</i> .....	16
3.4.4 Perhitungan Interferensi Jaringan .....	18
3.4.5 Menampilkan Output Simulasi .....	18
3.5 Analisis Hasil Kinerja .....	19
3.6 Membuat Laporan.....	19
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>20</b>
4.1 Skenario Simulasi <i>Macrocell</i> .....	20
4.2 Simulasi Simulasi <i>Femtocell</i> .....	24
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>29</b>
5.1 Kesimpulan .....	29
5.2 Saran .....	29
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>30</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>1</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Topologi Jaringan HetNet .....	7
Gambar 2.2 Skenario CCI untuk <i>down-link case</i> pada HetNet .....	8
Gambar 2.3 Metode FFR pada HetNet.....	9
Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian.....	10
Gambar 3.2 Bagan Alur Rancangan Simulasi Program .....	14
Gambar 3.3 Bagan Alur Pemrograman Sistem Simulasi .....	14
Gambar 3.4 Struktur Hexagonal <i>Cell</i> .....	17
Gambar 4.1 Struktur Hexagonal <i>Cell</i> pada <i>Macrocell</i> Dengan FFR (a) dan Tanpa FFR (b).....	20
Gambar 4.2 Nilai SINR <i>Macrocell</i> Dengan dan Tanpa Metode FFR .....	21
Gambar 4.3 Nilai <i>Channel capacity Macrocell</i> Dengan dan Tanpa Metode FFR .....	22
Gambar 4.4 Nilai Total <i>Throughput Macrocell</i> Dengan dan Tanpa Metode FFR .....	23
Gambar 4.5 Struktur Hexagonal <i>Cell</i> pada <i>Macrocell</i> Dengan FFR (a) dan Tanpa FFR (b).....	24
Gambar 4.6 Nilai SINR <i>Femtocell</i> Dengan dan Tanpa Metode FFR.....	25
Gambar 4.7 Nilai <i>Channel capacity Femtocell</i> Dengan dan Tanpa Metode FFR.....	26
Gambar 4.8 Nilai Total <i>Throughput Femtocell</i> Dengan dan Tanpa Metode FFR .....	27



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter Rancangan Jaringan HetNet .....	12
Tabel 3.2 Parameter Simulasi Jaringan Matlab.....	12
Tabel 3.3 <i>Range</i> Parameter SINR .....	15
Tabel 3.4 <i>Range</i> Parameter <i>Throughput</i> .....	16



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi telekomunikasi saat ini dituntut untuk melakukan pengembangan dalam memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi terhadap para pengguna. Salah satu teknologi yang menunjang dalam memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi yakni *Long Term Evolution* (LTE). LTE adalah kandidat utama pada jaringan 4G dalam memenuhi peningkatan tuntutan layanan broadband dengan mobilitas tinggi [1]. Teknologi ini diklaim dengan desain yang dapat menyediakan kemampuan spektrum yang lebih baik seperti pada peningkatan kapasitas radio, *latency* dan biaya operasional yang rendah bagi operator serta layanan *mobile broadband* kualitas tinggi untuk pengguna.

Teknologi 4G LTE menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan pengguna serta dikembangkan guna menyeimbangkan kebutuhan komunikasi data pengguna yang semakin meningkat. Teknologi LTE memiliki standar yang ditetapkan oleh 3GPP (*third generation partnership project*) *release* 8 dimana kecepatan maksimal downlink mencapai 100 Mbps ketika pengguna menggunakan dengan melakukan komunikasi dengan bergerak cepat dan 1 Gbps ketika pengguna dalam keadaan diam. LTE mampu bekerja sama dengan sesama sistem 3GPP maupun sistem yang bukan 3GPP. Standar LTE oleh 3GPP terus dikembangkan hingga 4G LTE memenuhi persyaratan peningkatan kualitas jaringan yang ditetapkan oleh *International Mobile Telecommunications-Advanced* (IMT-Advanced Standar), hingga melakukan pembaruan dengan LTE *release* 10 yang disebut LTE-Advanced (LTE-A). LTE-A memungkinkan operator membuat *bandwidth* yang lebih besar dengan alokasi spektrum terpisah. *Bandwidth* pada LTE mampu mencapai maksimal sebesar 20-100 Mhz [2].

Peningkatan pada jangkauan sel dan kapasitas jaringan merupakan dua tantangan utama untuk mengembangkan jaringan komunikasi nirkabel LTE-A. Dalam menjawab tantangan tersebut maka dilakukan penempatan *base transceiver station* (BTS) makro dengan BTS mikro berdaya rendah dan berjarak pendek seperti *femtocell* yang dianggap berfungsi meningkatkan efisiensi jaringan per unit area. Penggunaan jaringan berbeda ini disebut dengan HetNet[3].

Penerapan HetNet pada LTE-A memungkinkan penambahan *Home eNB* (HeNB) atau *femtocell* untuk meningkatkan kualitas pada layanan. Penggunaan *femtocell* pada LTE-A adalah langkah efektif untuk melakukan peningkatan pada kapasitas jaringan serta untuk memperbaiki kualitas area cakupan khususnya pada area dalam sel. Gangguan pada jaringan HetNet terjadi ketika pelanggan tidak memiliki akses HeNB mendekati cakupan area *femtocell* sehingga

pelanggan dipaksa untuk menggunakan jaringan layanan *macrocell* ENB yang paling dekat meskipun memiliki kualitas daya terima yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kualitas daya terima HeNB. Gangguan pada sel jaringan disebut *Inter Cell Interference* (ICI)[4].

Metode *fractional frequency reuse* (FFR) merupakan teknik manajemen interferensi dengan melakukan pembagian satu sel menjadi tiga bagian, dimana setiap bagian yang telah dibagi tiga tersebut dibagi lagi menjadi dua area cakupan. Hal itu dilakukan untuk mengurangi efek ICI pada jaringan. ICI yang kecil pada sel, akan meningkatkan performansi *user*, oleh karena itu penggunaan skema *Frequency reuse* akan mempengaruhi nilai SINR, *throughput*, kapasitas sel dan *coverage* [5].

Penelitian ini diharapkan mampu menganalisis lebih jauh manajemen interferensi pada HetNet dengan menggunakan metode FFR. Dari metode tersebut, hal yang menjadi parameter kualitas jaringan yakni diantaranya SINR, *throughput* serta *channel capacity*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasar latar belakang maka saya merumuskan masalah menjadi beberapa pertanyaan.

1. Bagaimana hasil kinerja jaringan pada area *macrocell* dengan dan tanpa menggunakan metode FFR ?
2. Bagaimana hasil kinerja jaringan pada area *femtocell* dengan dan tanpa menggunakan metode FFR ?
3. Bagaimana pengaruh metode FFR dalam melakukan manajemen interferensi pada HetNet makro-femto *cell* ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah berisi hal-hal yang membatasi ruang lingkup penelitian.

1. Parameter kinerja jaringan yang ingin ditemukan hasilnya yakni *throughput*, SINR dan *channel capacity*.
2. Simulasi menggunakan *software* MATLAB.
3. Simulasi menitikberatkan pada pengaruh metode FFR terhadap manajemen interferensi HetNet makro-femto *cell*.
4. Simulasi yang dijalankan dimulai dengan penggunaan metode FFR pada makro-femto *cell* hingga simulasi dijalankan tanpa penggunaan metode FFR pada makro-femto *cell*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini penulis menganalisis kinerja jaringan dengan manajemen interferensi pada HetNet makro-femto *cell* dengan dan tanpa metode FFR sehingga ditemukan hasil berupa SINR, *throughput* dan *channel capacity*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui hasil manajemen interferensi dengan menggunakan metode *fractional frequency reuse* (FFR) yang diaplikasikan pada HetNet makro-femto *cell*.
2. Dapat mengetahui hasil manajemen interferensi jika tanpa menggunakan metode *fractional frequency reuse* (FFR) yang diaplikasikan pada HetNet makro-femto *cell*.
3. Perbandingan efisiensi kedua percobaan tersebut dalam melakukan manajemen interferensi pada *heterogeneous network* makro-femto *cell*.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

Pada bagian studi literatur ini, berisi paper serta jurnal yang membahas hal yang terkait analisa perbandingan dua metode yang berbeda dalam manajemen interferensi yang akan dilakukan dalam penelitian. Bagian studi literatur ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan penunjang penelitian kami dan penelitian lainnya. Penelitian pertama yakni menurut Zulfikar Nurzain, Uke Kurniawan Usman, Hurianti Vidnyaningtyas [1], LTE (*Long Term Evolution*) merupakan standar komunikasi akses data nirkabel berbasis jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA yang pada awalnya diperkenalkan oleh 3GPP (*third generation partnership project*). LTE menggunakan OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) sedangkan pada uplink menggunakan SC-FDMA (*Single Carrier-Frequency Division Multiple Access*). Secara teori LTE menawarkan kecepatan downlink up to 100 Mbps dan uplink up to 50 Mbps. Namun, fasilitas kecepatan data yang disediakan oleh LTE memiliki kekurangan seperti melemahnya sinyal dikarenakan banyaknya interferensi dari banyaknya sinyal pengguna data pada jaringan LTE. Dari hal tersebut maka dibutuhkan suatu teknik untuk melakukan manajemen interferensi dalam jaringan dengan penggunaan teknologi LTE.

Penelitian kedua yaitu menurut [2], teknologi komunikasi 4G LTE hadir sebagai solusi dan pengembangan teknologi LTE terus dilakukan 3GPP dengan mengeluarkan LTE-Advanced rilis 10 dimana standar *bandwidth* minimal untuk menjalankan layanan 4G LTE-A adalah sebesar 20 MHz. Jika LTE memiliki kecepatan akses dengan rentan 10-100 Mbps, maka LTE-A memiliki kecepatan tinggi yang mampu menembus kecepatan akses 100-300 Mbps. Dengan kemampuan jaringan yang tersebut diharapkan mampu menjawab tantangan dalam sistem jaringan LTE-A pada jaringan HetNet.

Pada penelitian ketiga ini, penulis menggunakan teknologi LTE-A sebagai standar jaringan pada HetNet. Menurut [6] HetNet adalah sistem jaringan multi-tier dimana sel-sel mikro yang berbeda digunakan pada area sel yang padat dan area tepi sel. *Microcell* bertenaga rendah serta memiliki jarak jangkauan pendek lebih efektif untuk digunakan di tempat berbeda sesuai dengan kebutuhan pengguna. Salah satu jenis sel memiliki performa signifikan yakni *femtocell*. Hal tersebut dikarenakan *femtocell* sangat fleksibel untuk digunakan diberbagai tempat seperti tempat umum, kantor maupun di tempat-tempat umum. *Femtocell* biasa dikenal dengan sebutan *Home Node Base Station* (HeNB). Perangkat mikro ini mencakup area kecil yakni 20 hingga 30 meter serta menyediakan *throughput* data yang tinggi bagi pengguna atau *user equipment* (UE).



Teknologi mikro yakni *femtocell* mampu menjangkau bagian lingkup kecil yang merupakan kekurangan dari makro sel. Dalam sistem LTE-A HetNet, *macrocell* dan *femtocell* beroperasi pada saluran frekuensi yang sama. Akibatnya, *Co-Channel Interference* (CCI) terjadi sehingga dibutuhkan metode manajemen interferensi yang tepat untuk diterapkan pada HetNet.

Dari hal tersebut maka menurut [7] untuk meminimalkan gangguan CCI penggunaan sektorisasi sel membutuhkan teknik manajemen interferensi jaringan yakni berupa *frequency reuse*. Namun tantangan baru muncul ketika penggunaan *frequency reuse* diterapkan maka kapasitas jaringan disetiap sel semakin mengecil sehingga *throughput* pelanggan juga semakin mengecil. Hal tersebut tentu saja merugikan, mengingat kapasitas jaringan sangat dibutuhkan dalam layanan *broadband* berbasis *mobile*.

Adapun penelitian menurut Wisnu Hendra Pratama, Uke Kurniawan Usman dan Saleh Dwi Mardiyanto [5], *Frequency reuse* merupakan skema pengulangan frekuensi yang sama pada sel lain pada sistem komunikasi seluler. Dengan pengulangan frekuensi di sel lain diharapkan interferensi antar sel dapat berkurang, namun penggunaan *frequency reuse* dapat membuat pemborosan *bandwidth*. Oleh karena itu, maka dilakukan uji coba analisis metode manajemen interferensi yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Pada bagian penelitian selanjutnya menurut Makmul Siddiq Harahap dan Yusnita Rahayu [8], skema berbasis FFR digunakan untuk menutupi kekurangan skema *frequency reuse* sebelumnya, dimana pada FFR kualitas sinyal menjadi kuat menggunakan skema faktor *reuse* lebih rendah dan pengguna memiliki SINR lebih rendah menggunakan skema *reuse* faktor lebih tinggi serta pengalokasian daya frekuensi pada metode manajemen interferensi ini lebih tepat sasaran sehingga mampu mengurangi gangguan antar sel yang dapat menyebabkan interferensi.

Metode FFR telah diusulkan sebagai teknik ICI dalam jaringan nirkabel berbasis OFDMA. Menurut [9], Ide dasar dari teknik manajemen interferensi FFR adalah untuk menggunakan *bandwidth* sel sehingga pengguna sel tepi yang berdekatan tidak saling mengganggu dan gangguan yang diterima oleh pengguna berkurang. Dalam FFR ruang pada sel dibagi menjadi dua wilayah yakni bagian yang dekat dengan *Base Station* (BS) dan bagian luar yang terletak pada tepi sel. Pita frekuensi seluruhnya dibagi menjadi beberapa sub-band, dan masing-masing sub-band ditugaskan mengoptimalkan sisi dalam dan tepi wilayah luar sel.

Penelitian ini melakukan implementasi teknik FFR sebagai solusi manajemen interferensi jaringan HetNet dengan teknologi standar LTE-A. Penulis melakukan perancangan jaringan, simulasi jaringan, menetapkan parameter yang akan di analisis berupa SINR, *throughput* dan *channel capacity*. Adapun penelitian ini melakukan analisis pada perbandingan jaringan HetNet makro-femto dengan dan tanpa menggunakan metode FFR dengan desain skema UE terpusat yang

belum dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Metode desain skema jaringan hexagonal yang dibentuk berupa implementasi FFR dengan sistem penyebaran UE merata pada seluruh sel dan implementasi tanpa penggunaan FFR dengan pembagian ke satu titik sektor sel. Dari hal tersebut peneliti akan menemukan hasil analisis serta data pada implementasi manajemen interferensi jaringan dengan dan tanpa FFR pada HetNet berbasis teknologi LTE-A.

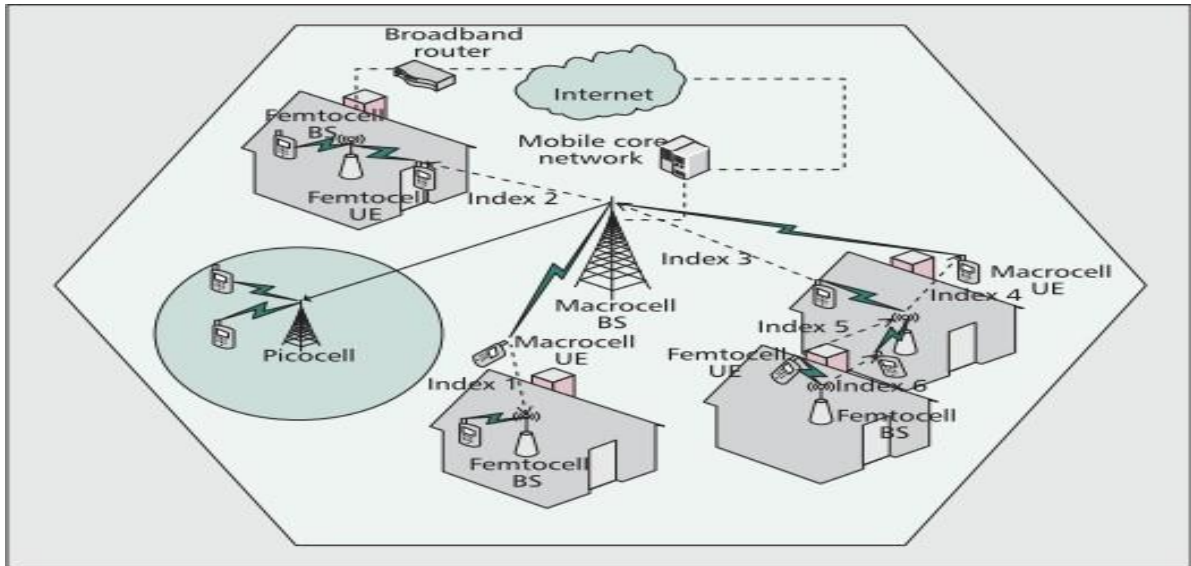
## 2.2 Tinjauan Teori

### 2.2.1 LTE-Advanced

LTE-A merupakan sebuah nama yang diberikan 3GPP untuk melakukan perbaikan terkait standar jaringan *mobile* generasi ke 3 yaitu (3G). LTE-A merupakan pengembangan teknologi setelah teknologi sebelumnya yakni LTE atau yang biasanya lebih familiar dengan sebutan 4G. Standar LTE terus dilakukan pengembangan teknologi telekomunikasi secara sistematis hingga seperti saat ini yang dikenal dengan LTE-Advanced. LTE-A mempunyai kecepatan data transfer hingga 1 Gb/s serta standar minimal *bandwidth* yakni 20 MHz.

### 2.2.2 Heterogeneous network

*Heterogeneous network* atau HetNet merupakan jaringan yang mampu menghubungkan komputer dan perangkat lain dimana sistem operasi ataupun protokolnya memiliki perbedaan signifikan sehingga dapat diartikan sebagai penggunaan teknologi akses berbeda. Penggunaan HetNet pada jaringan nirkabel yang berkembang dengan beberapa jenis node akses dalam jaringan nirkabel. Wide Area Network (WAN) digunakan dengan beberapa kombinasi seperti *picocell*, *macrocell* dan *femtocell* yang mampu diaplikasikan dengan jangkauan nirkabel dengan beragam zona jangkauan. Penelitian ini menggunakan HetNet berupa *macrocell* dan *femtocell*. Penelitian ini mengimplementasi metode FFR untuk melakukan manajemen interferensi jaringan pada HetNet.

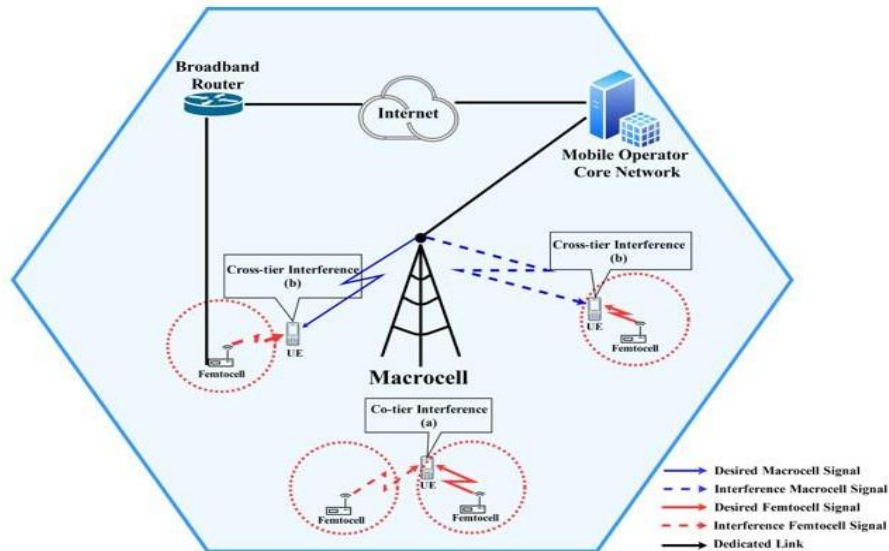


Gambar 2.1 Topologi Jaringan HetNet[3]

Implementasi jaringan HetNet juga digunakan untuk menjawab kekurangan dari sistem konvensional homogen sebelumnya. Pada sistem jaringan homogen, ketika terjadi gangguan koneksi pada satu bagian jaringan radio access technology (RAT), maka hal tersebut sulit teratasi dikarenakan penggunaan jaringan yang sama. Berbeda halnya dengan penggunaan jaringan heterogen, implementasi jaringan ini memungkinkan untuk mempertahankan RAT dengan mengalihkan koneksi kepada RAT yang lainnya. Efisiensi spektrum ditingkatkan dengan melakukan pemanfaatan pada RAT yang berbeda, dimana RAT pada jaringan heterogen mampu menyeimbangkan beban pada seluruh bagian RAT serta cakupan mampu untuk ditingkatkan karena RAT yang berbeda mampu untuk mengisi lubang dalam cakupan layanan jaringan yang tidak mampu diisi jika hanya menggunakan satu jenis jaringan saja atau jaringan homogen. Pengembangan HetNet juga dilakukan untuk menjawab beberapa tantangan, seperti mengatasi interferensi antar jaringan berbeda, mobilitas jaringan, hingga handover pada jaringan telekomunikasi.

### 2.2.3 Manajemen Interferensi

Pada jaringan telekomunikasi seluler, frekuensi merupakan sumber daya yang terbatas. Oleh karena itu, perlu pengalokasian daya serta frekuensi yang sistematis dan efektif. Hal tersebut juga dilakukan guna menghindari *Co-Channel Interference (CCI)* pada jaringan HetNet. Di berbagai penanganan terkait interferensi jaringan, teknik frekuensi *reuse* adalah ide utama yang dianggap merupakan solusi yang paling tepat.



Gambar 2.2 Skenario CCI untuk *down-link case* pada HetNet [6]

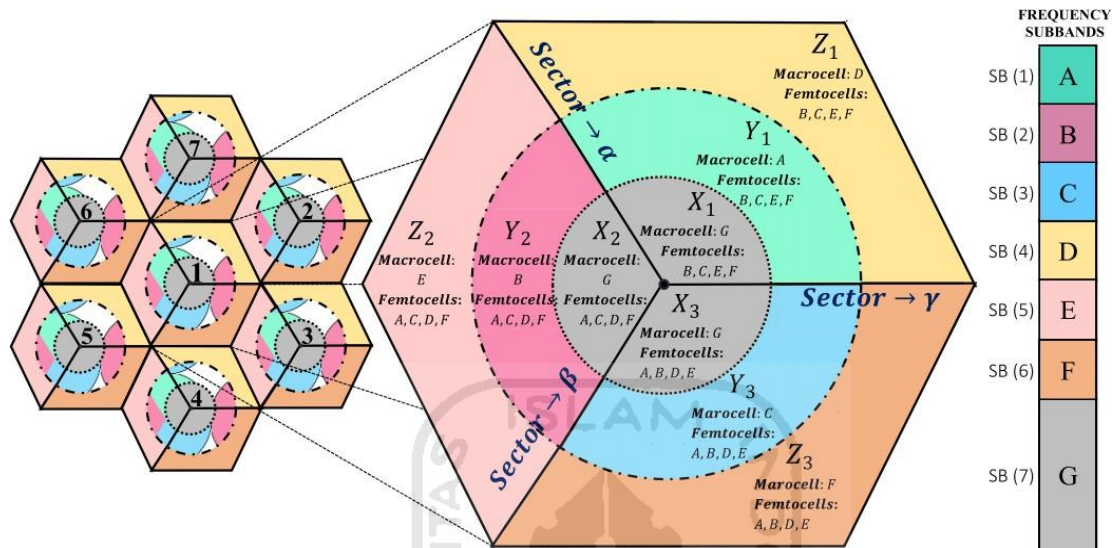
Pada Gambar 2.2 merupakan gambaran komunikasi jaringan HetNet dalam keadaan *down-link* serta merupakan bentuk dari skema CCI pada HetNet. Penelitian ini membahas terkait analisis manajemen interferensi pada HetNet makro-femto *cell*. Interferensi pada jaringan HetNet dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yakni interferensi pada UE berdekatan dan interferensi antara *macrocell* dan *femtocell*. Interferensi pada UE berdekatan dapat terjadi misalnya diantara *femtocell* berdekatan sehingga menyebabkan gangguan co-tier uplink ke BS *femtocell* tetangga yang berdekatan. Disisi lain *femtocell* sebagai sumber gangguan co-tier downlink ke UE *femtocell* tetangga. Adapun gangguan interferensi antara *macrocell* dan *femtocell* dapat terjadi dikarenakan *femtocell* UE (FUE) dan *macrocell* UE (MUE) bersamaan bertindak sebagai sumber interferensi lintas uplink ke *macrocell* eNB (MeNB) yang berdekatan dengan *femtocell* (HeNB). MeNB dan HeNB yang melakukan pelayanan pada waktu yang bersamaan menyebabkan interferensi pada lintas jaringan masing-masing. Dalam teknologi OFDMA *femtocell* interferensi hanya terjadi ketika penggunaan sel pada sumber saluran yang sama.

Dari beberapa permasalahan interferensi jaringan HetNet, maka teknik FFR merupakan solusi yang mampu melakukan skema pembagian frekuensi sel menjadi adanya beberapa bagian untuk mengatasi interferensi jaringan terkhususnya pada HetNet. Metode FFR yang terus dikembangkan untuk melakukan manajemen interferensi dalam jaringan secara efektif dan mampu melakukan penjadwalan frekuensi yang kolaboratif.

#### 2.2.4 Fractional frequency reuse

*Fractional Frequency Reuse* (FFR) merupakan salah satu metode pengembangan *Frequency reuse*. FFR merupakan pengembangan dari *frequency reuse* konvensional dimana FFR

memperbaiki skema *frequency reuse*. FFR sebagai skema alokasi sumber daya mampu mengurangi CCI pada LTE-A HetNet. Dalam beberapa penelitian dinyatakan FFR sebagai metode yang efektif dalam hal *throughput* serta kapasitas. FFR memiliki strategi pembagian wilayah sel dengan membaginya menjadi beberapa wilayah yakni wilayah dalam, menengah serta luar. Pada penelitian ini metode FFR yang digunakan diberikan modifikasi sesuai dengan pengembangan teknik FFR yang terus ditingkatkan.



Gambar 2.3 Metode FFR pada HetNet[6]

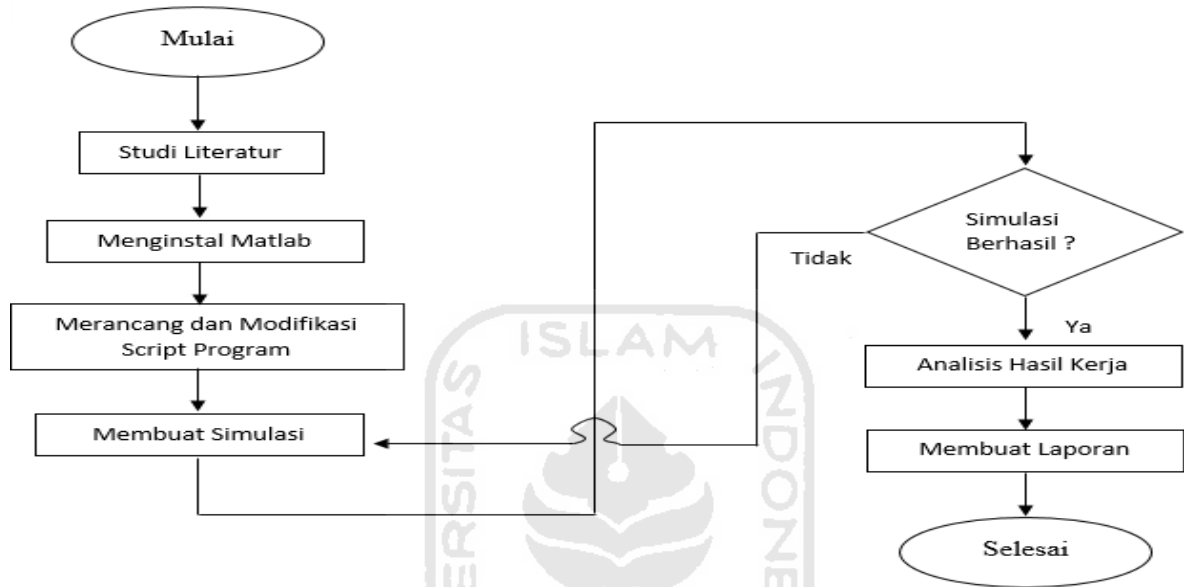
Dalam penelitian ini area *macrocell* dibagi menjadi tiga wilayah. Dari ketiga wilayah *macrocell* digunakan untuk memanfaatkan subband yang ada sehingga selanjutnya semua subband yang digunakan dalam area cakupan *macrocell* tetap dapat digunakan kembali oleh *femtocell*. Dalam skema ini penjatahan subband tidak diatur secara efisien sehingga diperkirakan rentan terhadap CCI yang lebih tinggi dapat terjadi pada MUE dan FUE karena faktor penggunaan ulang frekuensi.

### 2.2.5 Matrix Laboratory (MATLAB)

MATLAB merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi, tertutup, *case sensitif* dalam komputasi numerik yang dikembangkan oleh *MathWorks*. MATLAB juga memiliki banyak fungsi sehingga digunakan dalam berbagai disiplin ilmu. MATLAB mempunyai banyak library yang sangat membantu untuk menyelesaikan permasalahan matematika seperti membuat simulasi fungsi, pemodelan matematis serta perancangan *graphical user interface* (GUI). Pengaplikasian MATLAB pada bidang komunikasi dan jaringan juga digunakan oleh beberapa industri karena software ini memiliki banyak *tools* seperti *bit error rate*, *signal analysis*, dan lain-lain.

## BAB 3 METODOLOGI

Pada bab ini, penulis menjelaskan terkait hal utama yang dikerjakan dalam penelitian dan disajikan dalam bentuk bagan alur. Ada beberapa tahap yang diuraikan pada metodologi ini yakni seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

Pada bagian berikut ini berisi terkait proses penelitian ini dilakukan. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan MATLAB dengan menggunakan variasi metode untuk mendapatkan hasil kinerja yang efektif dalam manajemen interferensi. Proses penelitian ini dibagi pada beberapa tahapan, yaitu studi literatur, menginstall MATLAB, merancang dan modifikasi program, membuat simulasi jaringan, indikator penelitian dinyatakan tidak berhasil ketika simulasi tidak menampilkan data untuk dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian yakni mengetahui kinerja jaringan HetNet makro-femto *cell* dengan dan tanpa FFR. Selanjutnya, jika simulasi tidak berhasil menampilkan data maka penulis akan kembali ke tahapan membuat simulasi untuk melakukan penyesuaian pada parameter yang ingin dijalankan pada simulasi hingga dapat menampilkan data kinerja jaringan untuk di analisis. Indikator penelitian dinyatakan berhasil ketika mampu menampilkan data kinerja jaringan makro-femto *cell* dengan dan tanpa FFR. Selanjutnya setelah simulasi berhasil, maka dilakukan analisis pada data hasil simulasi, membuat laporan penelitian hingga selesai.

### 3.1 Studi Literatur

Pada bagian studi literatur ini, membahas terkait penelitian yang metode dan hasil yang ditemukan dari berbagai referensi seperti jurnal, *paper* ataupun buku. Studi literatur digunakan untuk menjelaskan latar belakang permasalahan yang ditemukan hingga permasalahan tersebut dapat diselesaikan melalui penelitian yang dibuat penulis. Permasalahan dengan menggunakan metode FFR pada jaringan HetNet yakni *macrocell* dan *femtocell* dapat dilakukan pencarian terkait referensinya pada studi literatur sebagai metode dan teori pada penelitian. Studi literatur berfungsi untuk melakukan analisis terhadap hasil yang ditemukan oleh penulis. Hasil studi juga digunakan sebagai pemberi masukan kepada penulis dalam menentukan parameter yang dijadikan metode penyelesaian masalah pada skripsi ini.

### 3.2 Menginstall MATLAB

Setelah menemukan permasalahan yang ditemukan dengan membaca studi literatur, maka dibutuhkan software guna menunjang simulasi penelitian. Penggunaan *Software* MATLAB dibutuhkan untuk memodifikasi skrip program, merancang program serta menjalankan simulasi jaringan. Dari hal tersebut, maka penulis menginstall *software* ini dengan sistem operasi Windows 10 berkapasitas RAM 4 GB, sedangkan untuk menjalankan MATLAB dibutuhkan spesifikasi komputer atau laptop dengan ketersediaan RAM 2 GB. Untuk versi MATLAB yang digunakan dalam penelitian yakni MATLAB versi 2015.

Pada penelitian, penulis menggunakan MATLAB sebagai wadah untuk memudahkan perancangan jaringan. MATLAB juga melakukan fungsi pemrograman, modifikasi program, menjalankan simulasi hingga menampilkan output berupa data dan grafik penelitian. MATLAB merupakan komponen utama sebagai software yang digunakan penulis untuk melakukan percobaan, mengumpulkan data hingga menemukan hasil untuk di analisa.

### 3.3 Merancang dan Memodifikasi Program

Setelah menginstall MATLAB, hal yang dilakukan pada tahap selanjutnya yakni merancang *script* Program serta melakukan modifikasi pada program dengan menambahkan parameter serta input yang sesuai dengan konsep penelitian. Program yang dirancang dan dimodifikasi berdasarkan *code programing* dengan referensi yakni [10]. Sedangkan algoritma program diambil dari referensi penelitian [6]. Program yang dirancang untuk membuat simulasi manajemen interferensi, dimana program akan diberikan beberapa parameter terkait standar layanan serta penambahan metode FFR pada jaringan HetNet yang selanjutnya akan dijalankan hingga dapat

menampilkan grafik data, gambar serta hasil simulasi. Perancangan dan modifikasi program bertujuan untuk menguji dan mengetahui bahwa konsep pada penelitian benar-benar dapat direalisasikan dengan spesifikasi parameter simulasi program dan dapat ditemukan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pada bagian tahap merancang dan modifikasi program penulis membuat spesifikasi rancangan jaringan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter Rancangan Jaringan HetNet

No	Parameter	Nilai
1.	Ukuran Jaringan	1 Tier ( 7 <i>Macrocell</i> )
2.	Radius Jangkauan <i>cell</i>	<i>Macrocell</i> = 500 m & <i>Femtocell</i> = 30 m
3.	<i>Transmit Power</i> HetNet	<i>Macrocell</i> = 43 dBm & <i>Femtocell</i> = 13 dBm
4.	<i>Noise Power Spectral Density</i>	-174 dBm/Hz
5.	Total User Equipment in Network	700 <i>User</i>
6.	Jumlah <i>User Equipment</i>	210 <i>UE Femto</i> = 30 <i>UE Femtocell</i> / 1 <i>Macrocell</i> 490 <i>UE Macro</i> = <i>UE other than UE Femtocell</i>
6.	Jumlah <i>cell</i>	7 <i>cell</i>
7.	Jumlah <i>User Equipment</i> / <i>cell</i>	700 <i>UE</i> = 100 <i>UE</i> / 1 <i>Cell</i>
8.	Channel Model Pathloss	$28+35\log_{10}(d)$ dB
9.	<i>Bandwidth</i> Jaringan	<i>Bandwidth</i> = 20 Mhz (LTE-A)

Pada Gambar 3.1 diketahui spesifikasi rancangan jaringan yang ingin digunakan pada simulasi. Adapun selanjutnya, tahapan merancang dan memodifikasi program tidak terlepas dengan parameter jaringan yang melibatkan masukan program untuk menjalankan simulasi jaringan yang dijalankan pada MATLAB. Parameter rancangan dan modifikasi tersebut dapat dijabarkan berupa parameter simulasi jaringan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Parameter Simulasi Jaringan MATLAB

No	Parameter	Simulasi Jaringan
1.	Pengukuran QoS Jaringan	<i>SINR, Channel capacity &amp; Throughput</i>
2.	Teknologi Jaringan	4G LTE <i>Advanced release 10 3GPP</i>
3.	Metode Manajemen Interferensi	<i>Fractional Frequency Reuse (FFR)</i>
3.	Jenis Jaringan	<i>Heterogeneous network Macrocell-Femtocell</i>
4.	Desain <i>cell</i>	Hexagonal <i>Cell</i>
5.	Jenis Simulasi	<i>Monte-Carlo Simulation in MATLAB</i>

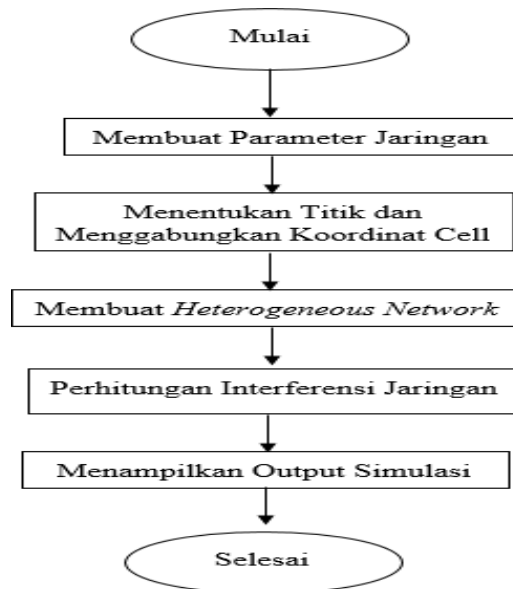


Tabel 3.2 merupakan simulasi jaringan yang dirancang serta digunakan untuk simulasi untuk menjalankan program pada MATLAB, ada beberapa parameter penting yang digunakan pada simulasi penelitian ini. Pengukuran kinerja jaringan dibagi menjadi 3 parameter yakni *channel capacity*, SINR, dan *Throughput*. Simulasi pada *channel capacity* dan SINR ditampilkan berupa data angka sedangkan *Throughput* ditampilkan data berupa angka dan figur hasil simulasi pada MATLAB. Pada teknologi LTE, sistem jaringan mampu melakukan manajemen interferensi berdasarkan jumlah *user* dan kapasitas pada masing-masing *cell*. Rancangan simulasi menggunakan sistem simulasi Monte-Carlo yang dapat melakukan penentuan suatu angka random dari data dengan distribusi tertentu sehingga waktu tidak memegang sebuah peranan yang substansif. Adapun algoritma pemrograman pada simulasi jaringan menggunakan algoritma Round Robin *Scheduling*, dimana penentuan kepada UE sangat bervariasi bergantung pada permintaan sumber daya pancar radio pengguna yang lebih tinggi. Dari proses simulasi tersebut ditemukan output berupa jumlah *user* yang terhubung dengan *macrocell* dan *femtocell* dalam jaringan. Pada bagian tahap merancang penulis selanjutnya membuat spesifikasi dari parameter simulasi jaringan untuk mengetahui

### 3.4 Membuat Simulasi Jaringan

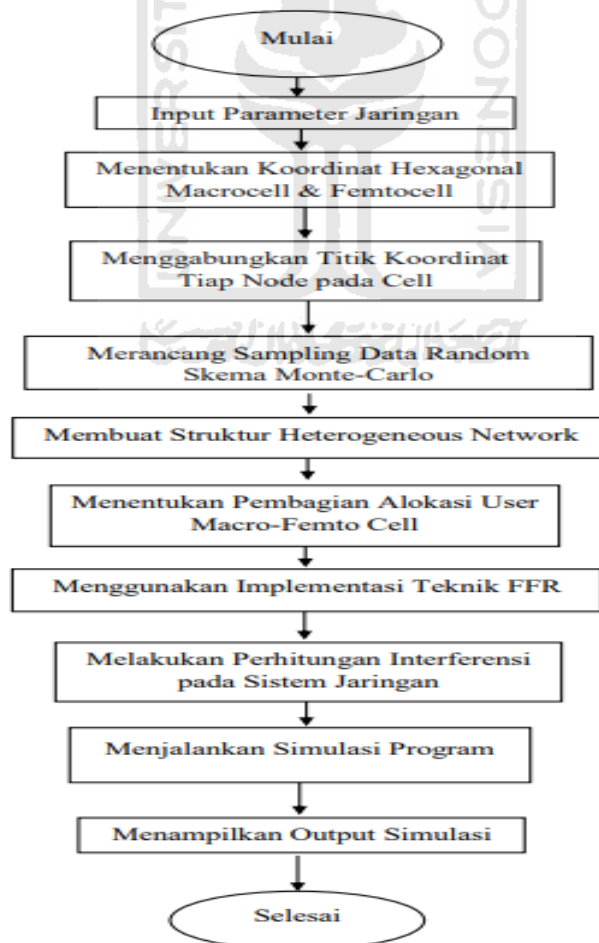
Pada bagian sebelumnya, penulis telah merancang dan memodifikasi *script* program, maka tahapan ini, penulis membuat simulasi untuk dijalankan pada program dengan tujuan untuk mendapatkan hasil data. Membuat simulasi jaringan sangat ditentukan dengan inputan yang digunakan untuk menemukan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Pada tahapan ini, penulis membuat simulasi pada MATLAB dengan bagan alur rancangan simulasi pemrograman secara umum berdasarkan masukan pada sistem dengan parameter Tabel 3.1. Bagan alur rancangan pemrograman ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 3.2 Bagan Alur Rancangan Simulasi Program

Pada bagian selanjutnya, penulis membuat bagan alur proses simulasi yang lebih detail yang merupakan turunan dari bagan alur Gambar 3.2. Alur proses simulasi secara detail dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.3 Bagan Alur Pemrograman Sistem Simulasi

Pada Gambar 3.3 diketahui bahwa pemrograman sistem simulasi dijelaskan secara spesifik untuk memperjelas bagan alur rancangan simulasi program pada Gambar 3.2 yang merupakan rancangan simulasi program secara garis besar. Adapun pada bagian selanjutnya merupakan penjelasan alur rancangan simulasi program yang dibahas pada Gambar 3.2 dijabarkan secara lebih jelas dengan melalui pembahasan sub bab. Bagian-bagian sub bab dijelaskan sebagai berikut.

### 3.4.1 Membuat Parameter Jaringan

Simulasi MATLAB pada penelitian ini dibuat berdasarkan kebutuhan *tools* yang dibutuhkan dalam analisis jaringan serta sesuai dengan tujuan penelitian. Parameter jaringan sangat mempengaruhi hasil pada keluaran simulasi. Pada simulasi ini, penulis akan menganalisa manajemen interferensi yang dilakukan sesuai dengan desain *cell* yang telah sesuai dan juga melakukan perhitungan yang sesuai dengan hasil metode FFR. Parameter yang dimasukkan berupa kualitas jaringan berupa SINR, *throughput* dan *channel capacity*. Hal ini juga merupakan cara penulis agar lebih mudah melakukan klasifikasi terkait kualitas jaringan dalam menangani interferensi jaringan pada saluran komunikasi.

Adapun berikut merupakan parameter jaringan menurut [11] sesuai dengan data yang telah dilakukan pada penelitian jurnal.

#### 1. Parameter SINR

SINR adalah kualitas sinyal yang ditemukan berupa daya interferensi dan noise yang mempengaruhi saat dilakukan komunikasi data oleh pengguna. Untuk range parameter dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.3 Range Parameter SINR[11]

Nilai SINR (dB)	Keterangan
$\geq 20$	Luar Biasa
15 s/d 10	Sangat Baik
10 s/d 5	Baik
5 s/d 0	Normal
0 s/d -5	Buruk
$< -10$	Sangat Buruk

#### 2. Parameter Throughput

*Throughput* adalah *bandwidth* aktual yang terukur pada suatu ukuran waktu tertentu dalam melakukan pengukuran menggunakan rute internet yang spesifik ketika sedang mendownload suatu file. Sedangkan *throughput* jaringan merupakan tingkat rata-rata keberhasilan pengiriman data melaluisaluran komunikasi. Untuk range parameter dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.4 Range Parameter *Throughput*[11]

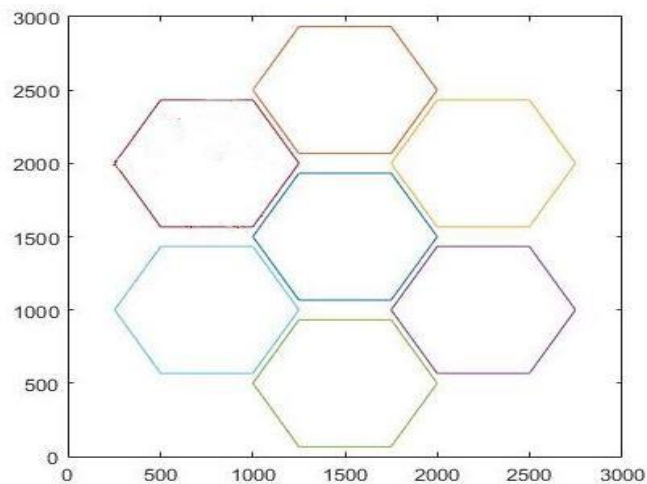
Nilai <i>Throughput</i> (kbps)	Keterangan
< 10.000	Luar biasa
10.000 s/d 5.000	Sangat baik
5.000 s/d 1.000	Baik
1.000 s/d 384	Normal
384 s/d 128	Buruk
128 s/d 0	Sangat Buruk

### 3. Parameter *Channel capacity*

*Channel capacity* (kanal) merupakan nilai kecepatan dimana data mampu ditransmisikan dengan suatu path komunikasi yang diberikan atau *channel*, dibawah beberapa kondisi yang diberikan. *Channel capacity* sangat ditentukan berdasarkan *bandwidth*, jumlah sinyal tegangan serta media transmisi data. Jadi parameter *channel capacity* ditampilkan sesuai dengan media transmisi data yang digunakan pada jaringan.

#### 3.4.2 Menentukan dan Menggabungkan Titik Koordinat *Cell*

Komunikasi pada jaringan telekomunikasi saat ini mampu melakukan komunikasi dengan jaringan yang sama ataupun dengan jaringan yang berbeda. Pada penelitian ini penulis melakukan analisa pada percobaan *heterogeneous network* yang memiliki perbedaan jaringan. Adanya perbedaan pada makro-femto *cell* menyebabkan klasifikasi pada bentuk model jaringan BTS berbeda. Oleh karena itu, penulis membuat titik koordinat sehingga ditemukan titik temu antara kedua jenis jaringan. Titik koordinat tersebut dibentuk dari jumlah makro-femto yang terhubung pada jarak yang telah ditentukan sehingga penulis mampu menggabungkan titik koordinat antar *cell*. Bagian titik memiliki radius yang sudah ditetapkan pada input parameter serta tiap koordinat bervariasi, dimana penulis membentuk titik dari koordinat A-G masing-masing dengan koordinat x, y dengan jarak pada setiap koordinat beragam.



Gambar 3.4 Struktur Hexagonal Cell

Penentuan titik tersebut mengikuti dari total frekuensi band sehingga menjadi 7 subband dengan A-G. Pada penentuan titik tersebut, penulis membuat *femtocell* mengikuti titik yang ditentukan oleh titik *tower macrocell*. Sehingga dengan penentuan titik tersebut, titik koordinat dapat digabungkan hingga membentuk jaringan heterogeneous network dengan tampilan *cell* hexagon.

### 3.4.3 Membuat Heterogeneous Network

Teknologi jaringan yang digunakan yakni LTE-Advanced yang terhubung dengan makro-femto *cell* yang merupakan HetNet. Pada penelitian ini jaringan heterogen dirancang melalui program MATLAB dengan menggunakan input dari parameter yang sesuai dengan skema makro-femto *cell*. *Macrocell* dan *femtocell* merupakan bts yang memiliki struktur yang berbeda namun pada penelitian ini, kedua teknologi tersebut menggunakan jaringan LTE-Advanced dengan spesifik *channel bandwidth* 20 Mb sebagai spektrum minimum yang ditetapkan pada 3GPP release 10. Beberapa parameter pada penelitian terkait dua teknologi ini dibuat dengan parameter dan spesifikasi yang sama untuk makro-femto *cell*. Penggunaan parameter input yang sama bertujuan agar ditemukan hasil output yang berbeda dan signifikan antara kedua teknologi dengan jaringan yang sama dan metode yang sama. Pembuatan HetNet pada program meliputi penentuan akses node pada tiap bagian sel. *Macrocell* memiliki keunggulan jarak radius yang cukup luas tapi tidak spesifikmenjangkau lingkup terkecil sedangkan penggunaan femtocell digunakan untuk menutupi kekurangan tersebut. Femtocell berdaya rendah dan dapat menjangkau lingkup kecil dengan berjarak pendek sehingga penggunaan HetNet digunakan unit meningkatkan efisiensi pada unit area sel. Pada bagian sebelumnya, Gambar 2.1 telah menampilkan topologi HetNet dimana penggunaan jaringan ini memungkinkan komunikasi antar jaringan yang berbeda. Begitupun pada Gambar 2.2 telah menampilkan interferensi yang terjadi pada komunikasi jaringan heterogen yang

menjadi sebuah tantangan tersendiri bagi penulis untuk merancang simulasi manajemen interferensi pada HetNet. Penelitian ini mengimplementasi teknik manajemen interferensi dengan dan tanpa FFR pada jaringan HetNet makro-femto *cell* dengan struktur desain hexagonal 1 tier. Struktur penyebaran HetNet dibuat berdasarkan dengan desain penentuan koordinat hexagonal yang di bentuk melalui program MATLAB. Struktur sel yang telah ditentukan koordinatnya tersebut disambungkan pada node-node akses bagian sel yang dapat menjangkau pengguna *macrocell* dan *femtocell*. Adapun pembagian penyebaran UE dapat di klasifikasikan berdasarkan area dan jumlah user pada setiap sektor bagian sel HetNet dengan implementasi teknik FFR. Selanjutnya akan dilakukan simulasi berupa sampling pada UE yang terkoneksi sel pada HetNet. Dengan ini penulis dapat mengetahui efektifitas kinerja jaringan pada struktur HetNet dengan dan tanpa FFR pada makro-femto *cell*.

### 3.4.4 Perhitungan Interferensi Jaringan

Jaringan yang telah dijalankan dengan parameter yang sama dan sudah disesuaikan dengan standar *heterogeneous network* akan dilakukan kalkulasi terhadap manajemen interferensi sesuai dengan metode *fractional frequency reuse*. Metode FFR digunakan untuk mengetahui efektifitas *Frequency reuse* dalam menangani interferensi yang ada pada *cell*. Adapun perhitungan interferensi dilakukan setelah program dijalankan dan telah melalui skema metode FFR. Perhitungan tersebut menjadi analisis hasil dari kualitas layanan yang ingin diketahui pada penelitian ini.

### 3.4.5 Menampilkan Output Simulasi

*Output* simulasi bertujuan agar mengetahui hasil kinerja manajemen interferensi pada jaringan terutama pada *throughput* dalam satuan Mbps, SINR dalam satuan dB, dan capacity dalam satuan (bps/Hz).

Tampilan *output* pada parameter QoS dapat dinyatakan sesuai dengan program Persamaan (3.1) dan Persamaan (3.2)

$$T_{total} = T_{UE} + T_{subcarrier} \quad (0.1)$$

dengan nilai:

- $T_{total}$  = Total *throughput* keseluruhan (*bytes*)
- $T_{UE}$  = *Throughput User Equipment* (*bytes*)
- $T_{subcarrier}$  = *Througput subcarrier macro/femto* (*bytes*)

$$SINR (dB) = \frac{P}{I} + N \quad (0.2)$$

dengan nilai:

$SINR$  = Signal to Noise Ratio (dB)

$P$  = Power yang diterima pada jarak tertentu

$I$  = Interferensi yang diterima  $P$  akibat site lain bekerja di frekuensi sama

$N$  = Noise yang diterima  $P$

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{N} \right) \quad (0.3)$$

dengan nilai:

$C$  = Capacity (bps)

$B$  = Radio channel bandwidth (Hz)

$P$  = Sinyal Power (dBm)

$N$  = Noise Power (dBm)

### 3.5 Analisis Hasil Kinerja

Analisis hasil pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisa kualitas layanan dua jaringan yang berbeda teknologi yang sudah diterapkan metode FFR sebagai metode manajemen interferensi. Adapun kualitas layanan yang dianalisa paling utama yakni *throughput* pada *user* jaringan *macrocell* dan *macrocell*. Adapun tambahan yang dianalisa berupa hasil output SINR dan *channel capacity* pada jaringan. Throughput akan ditampilkan dengan gambar figur matlab dan data hasil, sedangkan SINR dan capacity ditampilkan berupa hasil data. Tambahan tampilan berupa titik-titik *user equipment* yang berada pada *cell* radius jaringan.

### 3.6 Membuat Laporan

Tahapan selanjutnya yakni membuat laporan. Tahap ini merupakan tahapan akhir dari pengerjaan penelitian. Penulis membuat laporan sesuai dengan hal-hal yang dikerjakan penulis dari awal penelitian yakni studi literatur hingga dengan menemukan hasil output dari program simulasi hingga pada analisa hasil program. Laporan dibuat penulis agar dapat dibaca dan

dijadikan referensi bagi pembaca.





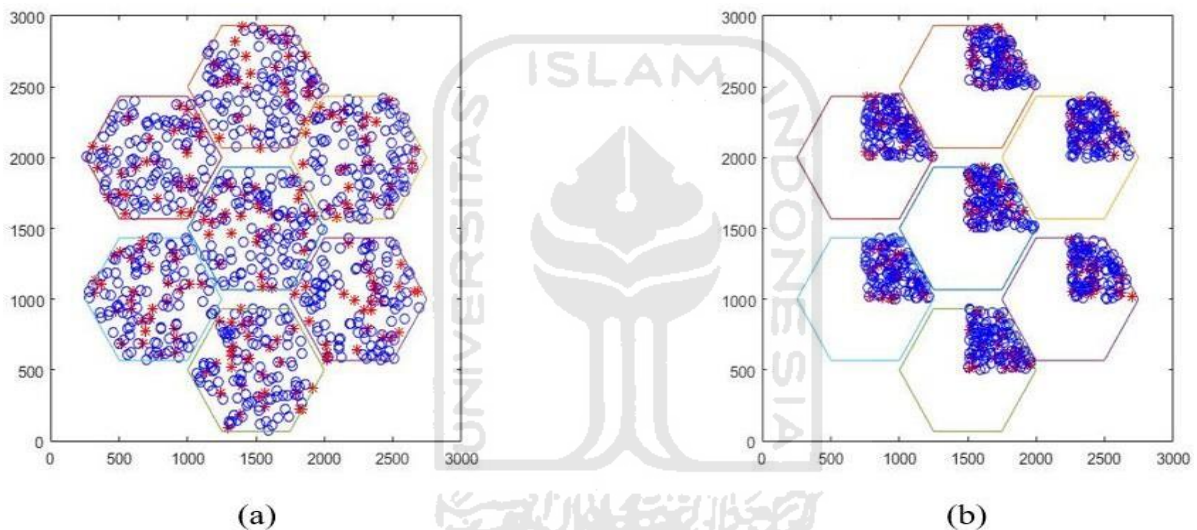
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini penulis akan memaparkan hasil dan pembahasan dari simulasi MATLAB yang dilakukan. Hasil dan pembahasan sesuai dengan masukan parameter Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

#### 4.1 Skenario Simulasi *Macrocell*

Simulasi jaringan pada *macrocell* dilakukan dengan menggunakan jaringan HetNet yang berbasis teknologi LTE-A. Pada simulasi jaringan ini dilakukan perbandingan kinerja dengan dan tanpa implementasi teknik FFR pada jaringan. Adapun gambar struktur sel hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut



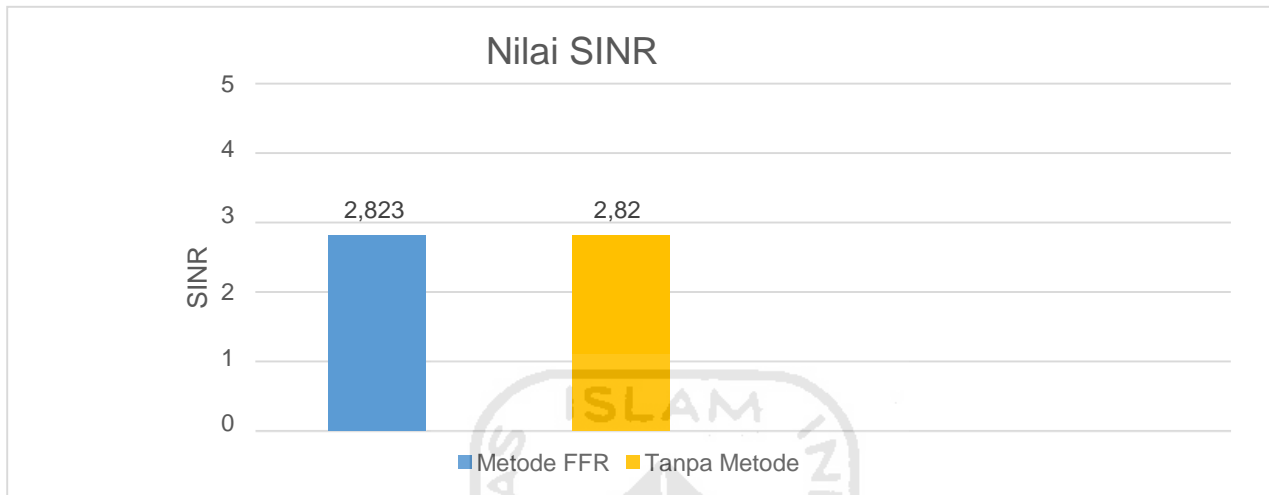
Gambar 4.1 Struktur Hexagonal *Cell* pada *macrocell* dengan FFR (a) dan tanpa FFR (b)

Pada Gambar 4.1 menunjukkan struktur sel yang merupakan output dari simulasi program menggunakan MATLAB. Titik lingkaran biru merupakan letak dari *macrocell user* yang tersebar sedangkan titik merah merupakan letak dari *femtocell user* yang tersebar dalam jaringan. Adapun total *user* yang digunakan dalam jaringan yakni 700 UE yang berada dalam jaringan. Penggunaan hexagonal dilakukan karena dengan penggunaan hexagonal sel maka seluruh area geografis pada sel dapat dicakupi sehingga terbilang lebih efektif. Adapun perbedaan hasil desain dari kedua keluaran simulasi yakni pada pembagian sektor pada UE sel. Pembagian UE sel pada *macrocell* dengan FFR merata ke beberapa bagian sektor sesuai dengan skema manajemen interferensi FFR sedangkan pembagian UE sel tanpa menggunakan FFR cenderung terpusat sehingga pembagian UE tidak merata. Pada penelitian ini, penulis melakukan percobaan simulasi *macrocell* pada HetNet dengan implementasi FFR dan tanpa FFR untuk mengetahui data kualitas jaringan seperti

SINR, total *throughput* jaringan, dan *channel capacity* yang dijadikan sebagai standar jaringan pada Tabel 3.1. Berikut merupakan analisis dari hasil penelitian.

### 1. SINR

Pada percobaan ini penulis melakukan analisis kualitas jaringan dengan menggunakan parameter SINR yang di implementasikan pada HetNet *macrocell* dengan dan tanpa FFR. Adapun gambar grafik hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut



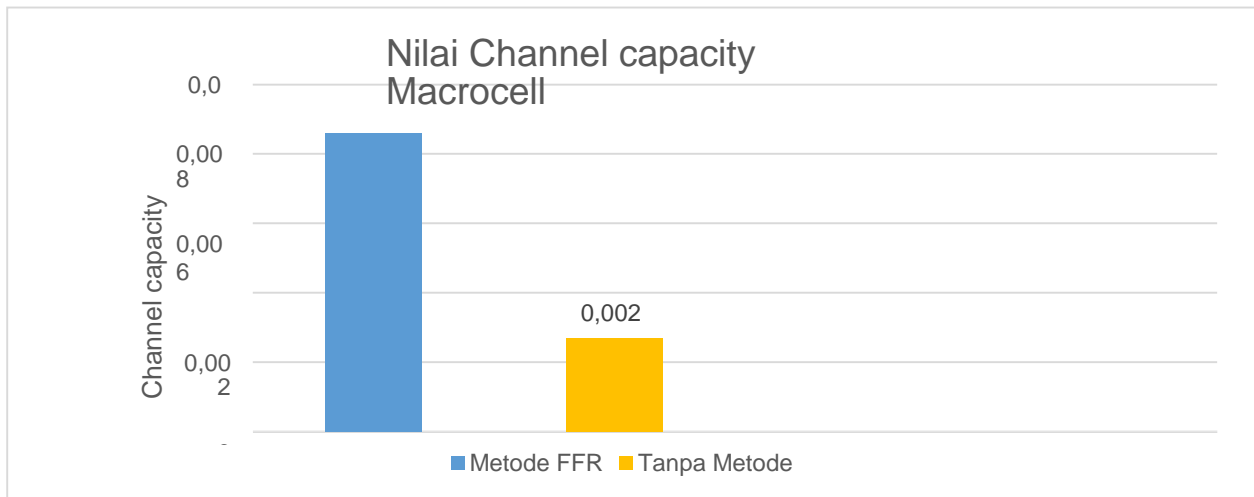
Gambar 4.2 Nilai SINR *Macrocell* Dengan dan Tanpa Metode FFR

Pada gambar 4.2 diketahui bahwa hasil simulasi SINR *macrocell* dengan menggunakan FFR menunjukkan nilai 2,8234 dB sedangkan hasil simulasi tanpa menggunakan FFR menunjukkan nilai 2,8230 dB. Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa nilai SINR pada *macrocell* dengan dan tanpa FFR memiliki nilai kinerja yang dikategorikan normal jika disesuaikan dengan parameter Tabel 3.3. Meskipun hasil dari kedua simulasi menunjukkan data yang tercapai kinerja normal tetapi dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa ditemukan adanya selisih nilai dimana SINR *macrocell* dengan FFR memiliki nilai 2,8234 dB dan tanpa FFR memiliki nilai 2,8230 dB yang artinya ada selisih nilai 0,0004 dB nilai SINR pada *macrocell* dengan FFR lebih tinggi jika dibanding dengan tanpa metode FFR [11].

Hasil SINR lebih tinggi menunjukkan data hasil kinerja *macrocell* dengan metode FFR lebih baik dibandingkan tanpa metode FFR karena semakin besar nilai SINR suatu jaringan maka *throughput* akan semakin besar serta sebaliknya semakin kecil nilai SINR suatu jaringan maka *throughput* juga akan semakin mengecil. Maka, semakin tinggi nilai SINR akan berbanding lurus terhadap tingginya kualitas jalur komunikasi pada sebuah jaringan.

### 2. Channel capacity

Pada percobaan ini penulis melakukan analisis kualitas jaringan dengan menggunakan parameter *channel capacity* yang di implementasikan pada HetNet *macrocell* dengan dan tanpa FFR. Adapun gambar grafik hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut.



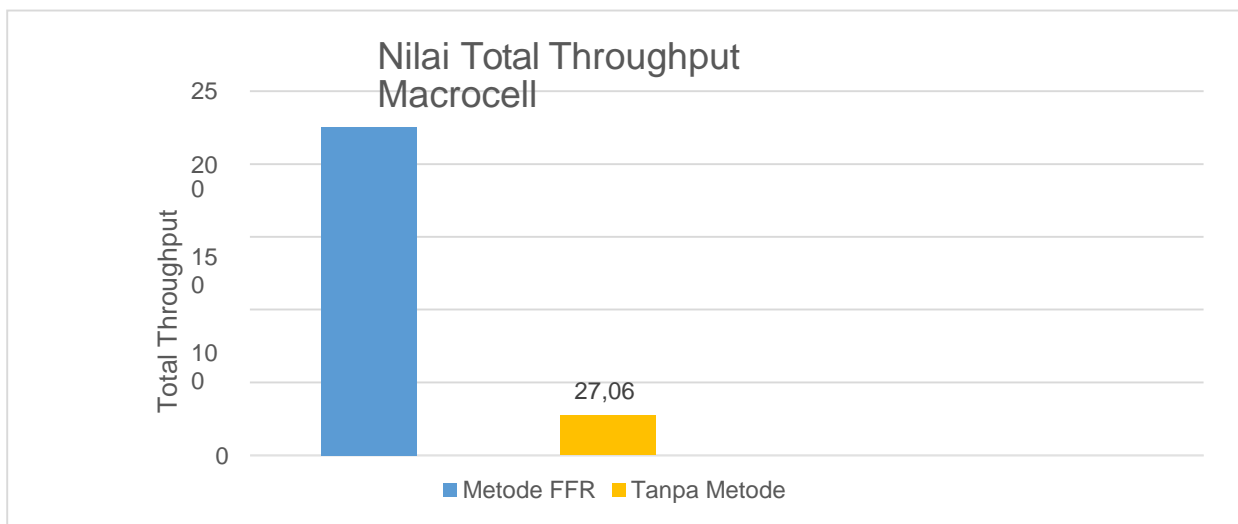
Gambar 4.3 Nilai *Channel capacity Macrocell* Dengan dan Tanpa Metode FFR

Pada Gambar 4.3 diketahui bahwa hasil simulasi *channel capacity macrocell* dengan FFR menunjukkan nilai 0,0086 bps/Hz sedangkan hasil simulasi tanpa FFR menunjukkan nilai 0,0027 bps/Hz. Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa nilai *channel capacity* pada *macrocell* dengan dan tanpa FFR memiliki nilai kinerja yang memiliki perbedaan signifikan. Hasil dari kedua simulasi menunjukkan adanya selisih nilai dimana SINR *macrocell* dengan FFR memiliki nilai 0,0086 bps/Hz dan tanpa FFR memiliki nilai 0,0027 bps/Hz yang artinya ada selisih nilai 0,0059 bps/Hz nilai *channel capacity* pada *macrocell* dengan FFR lebih tinggi jika dibanding dengan tanpa metode FFR.

Hasil *channel capacity* lebih tinggi menunjukkan bahwa hasil kinerja *macrocell* dengan metode FFR lebih baik dibandingkan tanpa metode FFR karena semakin tinggi *channel capacity* ini akan berbanding lurus dengan hasil nilai SINR. *Channel capacity* meningkat sesuai dengan peningkatan nilai dari SINR terhadap perbandingan dengan sinyal terhadap interferensi jaringan. Besarnya daya pancar sinyal jaringan menyebabkan semakin besarnya nilai pada *channel capacity*. Hal tersebut disebabkan karena nilai pada SINR semakin membesar. Adapun nilai *channel capacity* juga akan mempengaruhi nilai dari throughput karena semakin besar lebar pada *channel* yang digunakan maka akan semakin besar *throughput bandwidth* yang bisa dilewakan dalam transmisi data pada jaringan.

### 3. Throughput

Pada percobaan ini penulis melakukan analisis kualitas jaringan dengan menggunakan parameter total *throughput* dalam jaringan yang di implementasikan pada HetNet *macrocell* dengan dan tanpa FFR. Adapun gambar grafik hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 4.4 Nilai Total *Throughput Macrocell* Dengan dan Tanpa Metode FFR

Pada gambar 4.4 dapat diketahui bahwa hasil simulasi total *throughput macrocell* dalam jaringan dengan menggunakan FFR menunjukkan nilai 225,48 Mbps sedangkan hasil simulasi tanpa menggunakan FFR menunjukkan nilai 27,063 Mbps. Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa nilai *channel capacity* pada *macrocell* dengan dan tanpa FFR memiliki nilai kinerja yang memiliki perbedaan signifikan. Hasil dari kedua simulasi menunjukkan adanya selisih nilai dimana SINR *macrocell* dengan FFR memiliki nilai 225,48 Mbps dan tanpa FFR memiliki nilai 27,063 Mbps yang artinya ada selisih nilai 198,417 Mbps nilai *channel capacity* pada *macrocell* dengan FFR lebih tinggi jika dibanding dengan tanpa metode FFR. Jika *throughput* tiap UE maka dapat dihitung 225,48 Mbps dibagi 700 UE maka hasilnya bernilai 0,3221 Mbps. Maka dengan hasil tersebut dapat dianalisis bahwa nilai pada grafik dan tabel data keluaran pemrograman sudah berbanding lurus. Meskipun pada parameter Tabel 3.2 nilai total *throughput* 0,3211 Mbps atau setara dengan 321 Kbps pada *macrocell* dengan FFR merupakan nilai angka yang belum termasuk pada angka *throughput* normal tetapi sudah mendekati nilai normal yakni 384 Kbps. Sedangkan untuk *macrocell* Jika dihitung maka nilai 27,063 Mbps dibagi 700 UE maka hasilnya bernilai 0,0386 Mbps. Jika merujuk kepada parameter Tabel 3.4 jaringan total *throughput* normal yakni 384 Kbps dan nilai *throughput* untuk jaringan *macrocell* tanpa FFR yakni 38,6 Kbps dimana nilai tersebut masuk kedalam kategori *throughput* yang terbilang buruk. Dari kedua percobaan yaitu *macrocell* dengan FFR dan tanpa FFR diketahui bahwa kinerja *macrocell* belum terbilang sebagai kinerja *throughput* normal. Namun, jika dibandingkan penggunaan *macrocell* dengan menggunakan FFR dan tanpa FFR maka ditemukan hasil yang menyatakan nilai *macrocell* dengan menggunakan FFR memiliki nilai kinerja yang lebih baik dibandingkan tidak menggunakan FFR [11].

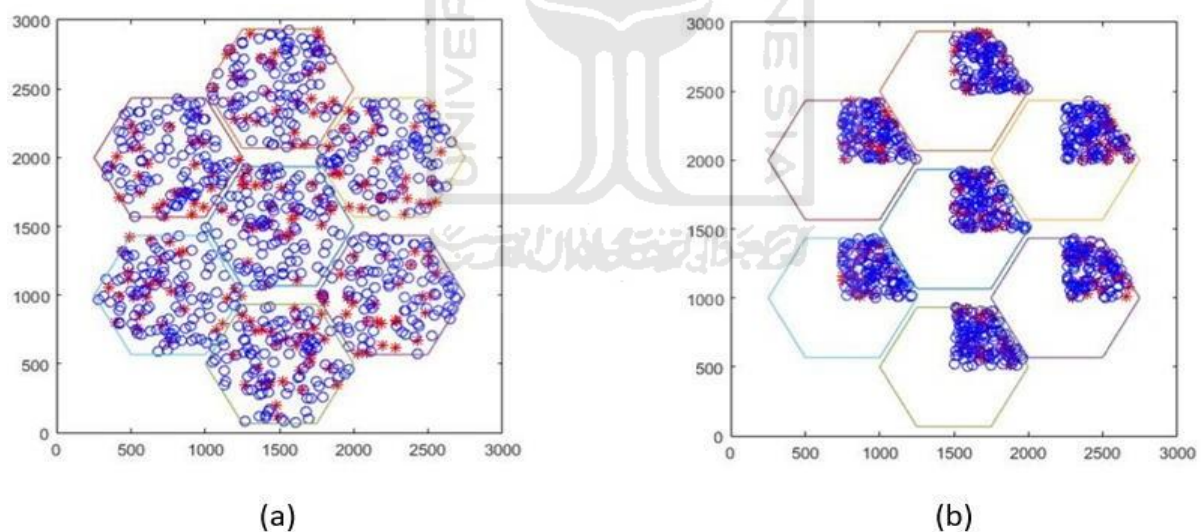
*Throughput* merupakan jumlah suatu data yang dapat dikirimkan serta diukur pada satuan waktu tertentu menggunakan rute akses data yang sudah terbilang spesifik serta merupakan jumlah

dari laju suatu data yang dapat dikirimkan melalui saluran komunikasi. Dari hal tersebut dapat diketahui jika makin tinggi nilai *throughput* suatu sistem jaringan maka semakin banyak jumlah dari laju data yang dapat terkirim. Adanya perbedaan nilai *throughput* yang sangat signifikan pada percobaan *femtocell* dengan dan tanpa menggunakan FFR menunjukkan data fakta bahwa kualitas jaringan berupa *throughput* pada percobaan dengan implementasi metode FFR dinilai lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan FFR.

Adapun indikator penelitian skenario *macrocell* dinyatakan berhasil karena telah menampilkan hasil simulasi sehingga data percobaan unjuk kerja teknik manajemen interferensi jaringan HetNet dengan dan tanpa metode FFR yang dapat di analisis sesuai dengan tujuan penelitian.

#### 4.2 Skenario Simulasi *Femtocell*

Simulasi jaringan pada *femtocell* dilakukan dengan menggunakan jaringan HetNet yang berbasis teknologi LTE-A. Pada simulasi jaringan ini dilakukan perbandingan kinerja dengan dan tanpa implementasi teknik FFR pada jaringan. Adapun gambar struktur sel hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut



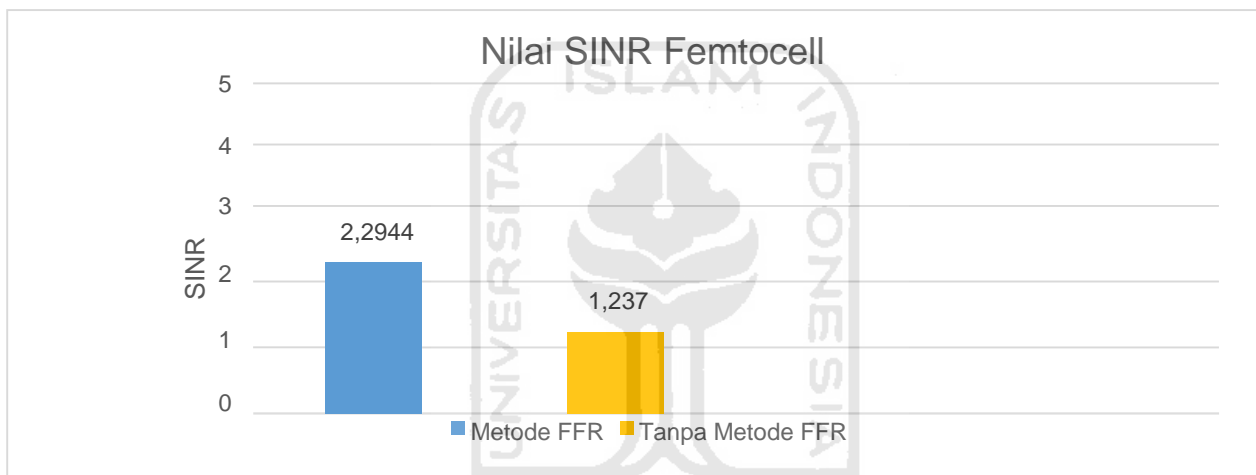
Gambar 4.5 Struktur Hexagonal *Cell* pada *femtocell* dengan FFR (a) dan tanpa FFR (b)

Pada Gambar 4.5 menunjukkan struktur sel yang merupakan output dari simulasi program menggunakan MATLAB. Titik lingkaran biru merupakan letak dari *macrocell user* yang tersebar sedangkan titik merah merupakan letak dari *femtocell user* yang tersebar dalam jaringan. Adapun total *user* yang digunakan dalam jaringan yakni 700 UE yang berada dalam jaringan. Penggunaan hexagonal dilakukan karena dengan penggunaan hexagonal sel maka seluruh area geografis pada sel dapat dicakupi sehingga terbilang lebih efektif.

Adapun perbedaan hasil desain dari kedua keluaran simulasi yakni pada pembagian sektor pada UE sel. Pembagian UE sel pada *femtocell* dengan FFR merata ke beberapa bagian sektor sesuai dengan skema manajemen interferensi FFR sedangkan pembagian UE sel tanpa menggunakan FFR cenderung terpusat sehingga pembagian UE tidak merata. Pada penelitian ini, penulis melakukan percobaan simulasi *femtocell* pada HetNet dengan implementasi FFR dan tanpa FFR untuk mengetahui data kualitas jaringan seperti SINR, total *throughput* jaringan, dan *channel capacity* yang dijadikan parameter jaringan pada Tabel 3.1. Hasil dan data analisis penelitian dijelaskan sebagai berikut.

### 1. SINR

Pada percobaan ini penulis melakukan analisis kualitas jaringan dengan menggunakan parameter SINR yang di implementasikan pada HetNet *femtocell* dengan dan tanpa FFR. Adapun gambar grafik hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut



Gambar 4.6 Nilai SINR *Femtocell* Dengan dan Tanpa Metode FFR

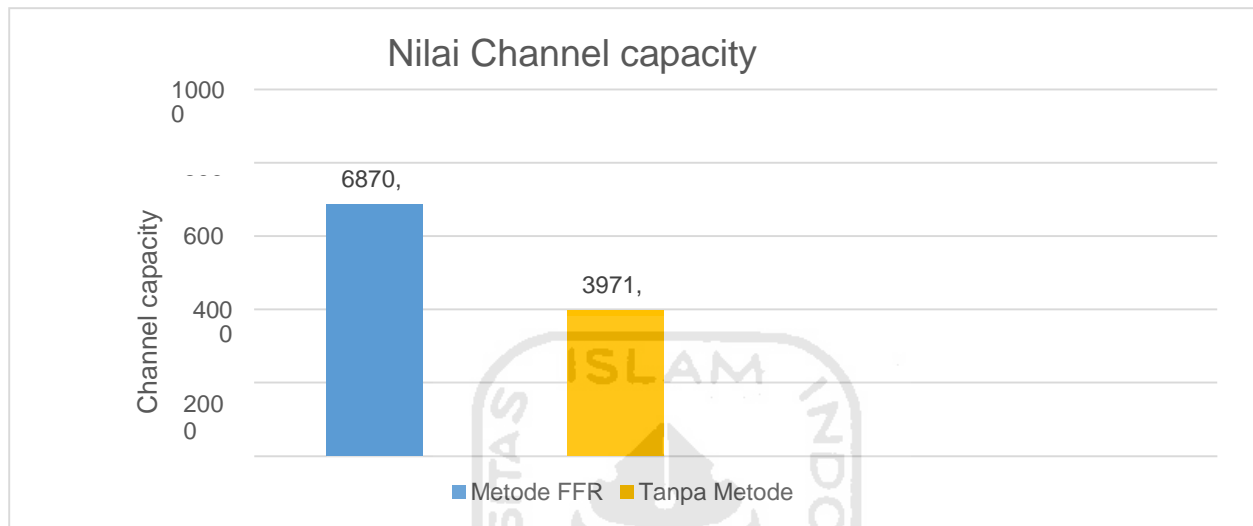
Pada gambar 4.6 dapat diketahui bahwa hasil simulasi SINR *femtocell* dengan menggunakan FFR menunjukkan nilai 2,2944 dB sedangkan hasil simulasi tanpa menggunakan FFR menunjukkan nilai 1,237 dB. Dari data tersebut dapat dianalisis bahwa nilai SINR pada *femtocell* dengan dan tanpa FFR memiliki nilai kinerja yang dikategorikan normal jika disesuaikan dengan parameter Tabel 3.3. Meskipun hasil dari kedua simulasi menunjukkan data yang tercapai kinerja normal tetapi dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa ditemukan adanya selisih nilai dimana SINR *femtocell* dengan FFR memiliki nilai 2,2944 dB dan tanpa FFR memiliki nilai 1,237 dB yang artinya ada selisih nilai 1,0574 dB nilai SINR pada *femtocell* dengan FFR lebih tinggi jika dibanding dengan tanpa metode FFR [11].

Hasil SINR yang secara signifikan lebih tinggi menunjukkan fakta bahwa hasil kinerja *femtocell* dengan metode FFR lebih baik dibanding tanpa metode FFR karena semakin besar nilai SINR pada suatu jaringan maka *throughput* juga akan semakin besar serta sebaliknya semakin

kecil nilai SINR suatu jaringan maka *throughput* juga akan semakin mengecil. Maka, semakin tinggi nilai SINR akan berbanding lurus terhadap tingginya kualitas jalur komunikasi pada jaringan.

## 2. Channel capacity

Pada percobaan ini penulis melakukan analisis kualitas jaringan dengan menggunakan parameter *channel capacity* yang di implementasikan pada HetNet *femtocell* dengan dan tanpa FFR. Adapun gambar grafik hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 4.7 Nilai *Channel Capacity Femtocell* Dengan dan Tanpa Metode FFR

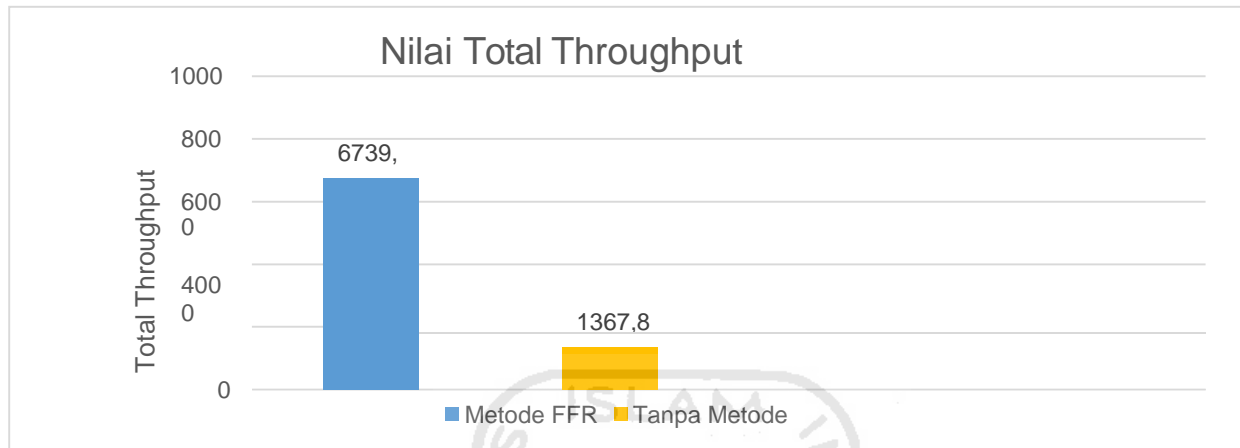
Pada gambar 4.7 diketahui bahwa hasil simulasi *channel capacity femtocell* dengan menggunakan FFR menunjukkan nilai 6870,6 bps/Hz sedangkan hasil simulasi tanpa menggunakan FFR menunjukkan nilai 3971,7 bps/Hz. Dari data tersebut dapat di analisis bahwa nilai *channel capacity* pada *femtocell* dengan dan tanpa FFR memiliki nilai kinerja perbedaannya signifikan. Hasil dari kedua simulasi menunjukkan adanya selisih nilai dimana SINR *macrocell* dengan FFR memiliki nilai 6870,6 bps/Hz dan tanpa FFR memiliki nilai 3971.7 bps/Hz yang artinya ada selisih nilai 2898,9 bps/Hz nilai *channel capacity* pada *femtocell* dengan FFR lebih tinggi jika dibanding dengan tanpa metode FFR.

Hasil *channel capacity* lebih tinggi menunjukkan fakta bahwa hasil kinerja *femtocell* dengan metode FFR lebih baik dibandingkan tanpa metode FFR bahkan nilai *channel capacity* pada *femtocell* dengan FFR hampir menjadi dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan *femtocell* tanpa FFR. Nilai *channel capacity* sangat berpengaruh dengan akses data jaringan dimana semakin tinggi *channel capacity* ini akan berbanding lurus dengan hasil nilai SINR. *Channel capacity* meningkat sesuai dengan peningkatan nilai dari SINR terhadap perbandingan dengan sinyal terhadap interferensi jaringan. Besarnya daya pancar sinyal jaringan menyebabkan semakin besarnya nilai pada *channel capacity*. Hal tersebut disebabkan karena nilai pada SINR semakin membesar. Nilai *channel capacity* akan mempengaruhi nilai dari *throughput* karena semakin besar

lebar pada *channel* yang digunakan maka semakin besar *throughput bandwidth* yang bisa dilewakan dalam transmisi data pada jaringan.

### 3. Throughput

Pada percobaan ini penulis melakukan analisis kualitas jaringan dengan menggunakan parameter total *throughput* dalam jaringan yang di implementasikan pada HetNet *femtocell* dengan dan tanpa FFR. Adapun gambar grafik hasil simulasi ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 4.8 Nilai Total *Throughput Femtocell* Dengan dan Tanpa Metode FFR

Pada gambar 4.8 diketahui bahwa hasil simulasi total *throughput femtocell* dalam jaringan dengan menggunakan FFR menunjukkan nilai 6739,3 Mbps sedangkan hasil simulasi tanpa menggunakan FFR menunjukkan nilai 1367,8 Mbps. Hasil dari kedua simulasi menunjukkan adanya selisih nilai dimana SINR *macrocell* dengan FFR memiliki nilai 6739,3 Mbps dan tanpa FFR memiliki nilai 1367,38 Mbps yang artinya ada selisih nilai 5371,5 Mbps nilai *throughput* pada *macrocell* dengan FFR lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanpa metode FFR.

Berdasarkan nilai tersebut maka *throughput UE* pada jaringan dengan *femtocell* dengan menggunakan metode FFR jika dihitung maka jumlah total *throughput* dibagi dengan jumlah UE pada sistem. Angka tersebut yakni 6739300 Kbps dibagi 700 UE maka hasilnya bernilai 9627,5 Kbps/UE. Jika merujuk kepada parameter Tabel 3.4 maka jaringan total *throughput* normal yakni 384 Kbps dan nilai *throughput* untuk *femtocell* dengan FFR yakni 9627,5 Kbps/UE, maka angka tersebut telah berada pada total *throughput* normal bahkan skala *throughput* 5000-10.000 Kbps dikelompokkan sebagai *throughput* yang sangat baik atau mendekati kategori luar biasa.

Sedangkan untuk percobaan *throughput UE* pada jaringan tanpa menggunakan metode FFR jika dihitung *throughput UE* pada jaringan yakni dengan menghitung jumlah total *throughput* dibagi dengan jumlah UE pada sistem. Angka tersebut yakni 1367800 Kbps dibagi 700 UE, maka hasilnya bernilai 1954 Kbps/UE. Pada parameter Tabel 3.2 maka jaringan total *throughput* normal yakni 384 Kbps dan nilai *throughput* untuk *femtocell* tanpa FFR yakni 1954 Kbps/UE, maka angka tersebut telah berada pada nilai *throughput* baik dengan rentan skala 1000 sd 5000 Kbps tergolong



baik. Meskipun begitu angka *throughput* pada *femtocell* tanpa menggunakan metode FFR ini memiliki angka yang masih sangat jauh jika dibandingkan dengan *femtocell* dengan menggunakan FFR yakni di angka 9627,5 Kbps/UE [11].

*Throughput* merupakan jumlah suatu data yang dapat dikirimkan serta diukur pada satuan waktu tertentu menggunakan rute akses data yang sudah terbilang spesifik serta merupakan jumlah dari laju suatu data yang dapat dikirimkan melalui saluran komunikasi. Dari hal tersebut dapat diketahui jika makin tinggi nilai *throughput* suatu sistem jaringan maka semakin banyak jumlah dari laju data yang dapat terkirim. Adanya perbedaan nilai *throughput* yang sangat signifikan pada percobaan *femtocell* dengan dan tanpa menggunakan FFR menunjukkan data fakta bahwa kualitas jaringan berupa *throughput* pada percobaan dengan implementasi metode FFR dinilai lebih baik jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan FFR.

Adapun indikator penelitian skenario *femtocell* dinyatakan berhasil karena telah menampilkan hasil simulasi sehingga data percobaan unjuk kerja teknik manajemen interferensi jaringan HetNet dengan dan tanpa metode FFR yang dapat di analisis sesuai dengan tujuan penelitian.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Hasil simulasi jaringan pada skenario *macrocell* dengan dan tanpa metode FFR ditemukan perbandingan hasil data yang menyatakan kinerja jaringan dengan implementasi FFR lebih efektif dimana SINR memiliki selisih nilai 0,0004 dB, *channel capacity* memiliki selisih 0,0059 bps/Hz, serta total *throughput* 198,417 Mbps.
2. Hasil simulasi jaringan pada skenario *femtocell* dengan dan tanpa metode FFR ditemukan perbandingan hasil data yang menyatakan kinerja jaringan dengan FFR lebih efektif dimana SINR memiliki selisih nilai 1,0574 dB, *channel capacity* memiliki selisih 2898,9 bps/Hz, serta total *throughput* 5371,5 Mbps.
3. Pengaruh penggunaan metode FFR untuk melakukan manajemen interferensi jaringan HetNet makro-femto dinilai efektif karena terbukti dari hasil simulasi *macrocell* dengan atau tanpa menggunakan FFR dan simulasi *femtocell* dengan atau tanpa menggunakan FFR nilai hasil keluaran kinerja jaringan berupa SINR, *channel capacity* dan total *throughput* pada jaringan memiliki nilai kinerja lebih baik jika dibandingkan dengan tidak menggunakan metode FFR.

#### 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan mampu melakukan analisa terkait kinerja FFR pada jaringan HetNet dengan menggunakan parameter dan tampilan data yang lebih beragam.
2. Pada percobaan selanjutnya diharapkan melakukan peneliti lain melakukan percobaan dengan metode FFR terbaru pada HetNet dengan penggunaan software yang berbeda.
3. Adanya model atau metode terbaru dengan bentuk manajemen interferensi berbeda sebagai pembanding metode FFR pada HetNet.
4. Dibutuhkan keluaran data berupa simulasi bergerak sehingga peneliti berikutnya mampu melakukan analisa yang lebih detail.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. J. Nst, R. P. Astuti, and A. D. Pambudi, “Analisis Perencanaan Jaringan Long Term Evolution ( Lte ) Di Kota Bandung Menggunakan Metode Optimal Fractional Frequency Reuse ( Offr ) Sebagai Manajemen Interferensi Analysis of Long Term Evolution ( Lte ) Network Planning in Bandung City Using Optimal,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 4537–4543, 2016.
- [2] P. Muharram, “Mekanisme Carrier Aggregation Pada Jaringan 4G LTE-Advanced,” *Univ. Lampung*, pp. 1–67, 2016.
- [3] N. Saquib, E. Hossain, and D. Kim, “Fractional frequency reuse for interference management in LTE-advanced hetnets,” *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 20, no. 2, pp. 113–121, 2013.
- [4] D. Muryono, Aji Hidayat, Hendratoro, Gamantyo, dan Kuswidiastuti, “Desain dan Analisa Kinerja Femtocell LTE Advanced Menggunakan Metode Inter Cell Interference Coordination,” *J. Tek. Pomits*, vol. 2, no. 2, pp. 282–286, 2013.
- [5] W. H. Pratama, U. K. Usman, and S. D. Mardiyanto, “Analisis Perencanaan Jaringan Long Term Evolution ( Lte ) Menggunakan Metode Frekuensi Reuse 1 , Fractional Frequency Reuse Dan Soft Frequency Reuse Studi Kasus Kota Bandung,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [6] S. A. Khan, A. Kavak, sultan Aldirmaz colak, and K. Kucuk, “A Novel Fractional Frequency Reuse Scheme for Interference Management in LTE-A HetNets,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 109662–109672, 2019.
- [7] Iskandar, I. Setyawan, and H. Nuraini, “Inter-cell Interference Management Technique for Multi-Cell LTE-a Network,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 7, no. 5, pp. 2696–2705, 2017.
- [8] M. S. Harahap and Y. Rahayu, “Analisis Perancangan Fractional Frequency Reuse Pada Jaringan Long Term Evolution Di Kota Pekanbaru,” *Jom FTEKNIK*, vol. 4, pp. 1–7, 2015.
- [9] H. E. E. O. M. Elfadil, M. A. I. Ali, and M. Abas, “Fractional frequency reuse in LTE networks,” *2015 2nd World Symp. Web Appl. Networking, WSWAN 2015*, 2015.
- [10] E. Tanner and T. Wright, “No Title,” *Github*, 2020. [Online]. Available: <https://github.com/erictanner22/HetNet-FFR-Project>.
- [11] I. D. G. Paramartha Warsika, N. M. A. E. Dewi Wirastuti, and P. K. Sudiarta, “Analisa Throughput Jaringan 4G Lte Dan Hasil Drive Test Pada Cluster Renon,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 1, p. 74, 2019.

# LAMPIRAN

