

**MANAJEMEN INTERFERENSI MENGGUNAKAN METODE
ALGORITMA PENJADWALAN BERDASARKAN POSISI DAN BEBAN
TRAFIK *USER* PADA TEKNOLOGI *CELL-LESS CLOUD-RADIO ACCESS*
*NETWORK***

(Skripsi)

Oleh

AHMAD LUTHFI GUSTOMI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

MANAJEMEN INTERFERENSI MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA PENJADWALAN BERDASARKAN POSISI DAN BEBAN TRAFIK *USER* PADA TEKNOLOGI *CELL-LESS CLOUD-RADIO ACCESS NETWORK*

OLEH

AHMAD LUTHFI GUSTOMI

Permintaan pengguna seluler untuk kualitas dan kapasitas data meningkat seiring berkembangnya layanan (multimedia, *game online*, *download*, *upload*, dll). Hal ini mengemukakan tantangan besar bagi penyedia layanan. Maka, optimalisasi penggunaan sumber daya radio adalah masalah utama dalam jaringan nirkabel. Teknologi Cloud-Radio Access Network (C-RAN) mendukung strategi inovatif dengan mempertimbangkan jaringan sebagai "sel hiper" daripada sekumpulan sel yang independen satu sama lain. Strategi yang sering disebut "*Cell-less*" memungkinkan untuk memusatkan pengambilan keputusan. Teknologi Cell-less C-RAN secara dinamis menangani penjadwalan di setiap sel sesuai dengan *Channel State Information* (CSI) masing-masing untuk mengurangi interferensi.

Scheduling yang dilakukan masih menimbulkan permasalahan interferensi dan *fairness* di setiap sel. Untuk itu, skripsi ini menggunakan metode *Combination of Dynamic Scheduling* (CDS) berdasarkan posisi dan beban trafik *user* untuk mengatasi dua jenis permasalahan tersebut. *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR), *Throughput*, *Spectral Efficiency*, dan *Fairness* digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi kinerja sistem.

Pemodelan dan simulasi digunakan untuk menguji sistem. Hasil simulasi yang didapatkan menunjukkan bahwa dengan metode CDS nilai SINR, *Throughput*, *Spectral Efficiency*, dan *Fairness Index* lebih baik daripada tanpa menggunakan metode tersebut. Metode tanpa CDS yang digunakan sebagai pembandingan adalah tiga buah metode *scheduling* yaitu: (1) round-robin, (2) *scheduling* berdasarkan posisi *user* dan, (3) *scheduling* berdasarkan beban trafik. Dengan metode CDS, nilai SINR kurang dari 20 dB sebesar 11 persen, sedangkan tanpa metode CDS sebesar 100 persen. Nilai *Throughput* dengan metode CDS kurang dari 60 Mbps bernilai 14 persen sedangkan tanpa metode CDS sebesar 100 persen. Dengan metode CDS nilai *Spectral Efficiency* lebih besar dari 5 bit/s/Hz sebesar 3 persen, sedangkan tanpa metode CDS sebesar 60 persen. Nilai *Fairness Index* menggunakan CDS memiliki nilai 0,837, sedangkan tanpa metode CDS memiliki nilai *Fairness Index* 0,807.

Kata Kunci: *Dynamic Scheduling*, C-RAN, *Cell-less*, SINR, *Fairness*.

ABSTRACT

INTERFERENCE MANAGEMENT USING SCHEDULING ALGORITHM BASED ON USER POSITION AND TRAFFIC LOAD IN CELL-LESS CLOUD-RADIO ACCESS NETWORK TECHNOLOGY

By

AHMAD LUTHFI GUSTOMI

The demand of mobile users for data quality and capacity increases due to the development of services (multimedia, online games, downloads, uploads, etc). It poses a major challenge for service providers. Therefore, optimizing the use of these resources is a major problem in wireless networks. Cloud-Radio Access Network (C-RAN) technology supports an innovative strategy by considering a network as a "hyper cell" rather than a set of cells which is independent of each other. The strategy that is often called "Cell-less" allows for centralized decision making. Cell-less C-RAN technology dynamically handles scheduling in each cell according to each Channel State Information (CSI) to minimize interference.

Scheduling that is done still causes interference and fairness problems in each cell. For this reason, this undergraduate project uses the Combination of Dynamic Scheduling (CDS) method based on the user's position and user traffic load to overcome these two types of problems. Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR), Throughput, Spectral Efficiency, and Fairness are used as parameters to evaluate system performance.

Modeling and simulation are used to evaluate the system performance. The simulation results obtained show that with the CDS method the values of SINR, Throughput, Spectral Efficiency, and Fairness Index are better than without using this method. The method without CDS used as a comparison is three scheduling methods, namely: (1) round-robin, (2) scheduling based on user position and, (3) scheduling based on traffic load. With the CDS method, the SINR value which is less than 20 dB is 11 percent, while without the CDS method it is 100 percent. The throughput value with the CDS method of less than 60 Mbps is 14 percent, while without the CDS method it is 100 percent. With the CDS method the Spectral Efficiency value which is greater than 5 bits/s/Hz is 3 percent, while without the CDS method it is 60 percent. The Fairness Index value using the CDS has a value of 0.837, while without the CDS method it has a Fairness Index value of 0.807.

Key Words: Dynamic Scheduling, C-RAN, Cell-less, SINR, Fairness.

**MANAJEMEN INTERFERENSI MENGGUNAKAN METODE
ALGORITMA PENJADWALAN BERDASARKAN POSISI DAN BEBAN
TRAFIK *USER* PADA TEKNOLOGI *CELL-LESS CLOUD-RADIO ACCESS
NETWORK***

Oleh
AHMAD LUTHFI GUSTOMI

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

Judul Skripsi

**: MANAJEMEN INTERFERENSI
MENGUNAKAN METODE ALGORITMA
PENJADWALAN BERDASARKAN POSISI
DAN BEBAN TRAFIK *USER* PADA
TEKNOLOGI *CELL-LESS CLOUD-RADIO*
*ACCESS NETWORK***

Nama Mahasiswa

: Ahmad Luthfi Gustomi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715031074

Jurusan

: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

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

NIP 19710525 199903 1 001

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**

Herlinawati, S.T., M.T.

NIP 19710314 199903 2 001

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.

NIP 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

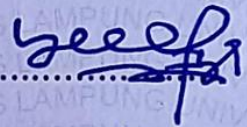
Ketua

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



Sekretaris

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



Penguji

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



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✓

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **04 Januari 2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“MANAJEMEN INTERFERENSI MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA PENJADWALAN BERDASARKAN POSISI DAN BEBAN TRAFIK USER PADA TEKNOLOGI CELL-LESS CLOUD-RADIO ACCESS NETWORK”** merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain. Maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 3 Februari 2023



Ahmad Luthfi Gustomi

NPM. 1715031074

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 13 November 1999. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Eddy Gustomi dan Ibu Masitoh yang diberi nama Ahmad Luthfi Gustomi. Mengenai riwayat pendidikan, penulis lulus Sekolah Dasar (SD) di SD Al-Azhar 2 Bandar Lampung pada tahun 2011, lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 8 Bandar Lampung pada tahun 2014, lulus Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 5 Bandar Lampung pada tahun 2017, dan diterima di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung (UNILA) pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Fakultas Teknik sebagai Anggota Departemen Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) pada periode 2018-2020. Selain mengikuti organisasi, penulis juga berkesempatan menjadi Asisten Laboratorium Teknik Telekomunikasi dan menjadi asisten beberapa praktikum yaitu, Praktikum Dasar Telekomunikasi, Praktikum Sistem Komunikasi, dan Praktikum Jaringan Telekomunikasi. Selain itu, penulis pernah melakukan Kerja Praktek (KP) selama 40 hari di Laboratorium Telemetri Pusat Teknologi Elektronika (PTE), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Banten pada tahun 2020.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini kupersembahkan untuk

“ Kedua Orang Tua’

Yang selalu mendoakan penulis di setiap saat .

Senantiasa memberikan dukungan moril maupun materil
dalam menyelesaikan Skripsi.

-TERIMA KASIH-

Motto

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri.”

(QS. Ar-Rad: 11)

SANWACANA

Alhamdulillah rabbil alamin, penulis sampaikan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir dengan judul **“MANAJEMEN INTERFERENSI MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA PENJADWALAN BERDASARKAN POSISI DAN BEBAN TRAFIK *USER* PADA TEKNOLOGI *CELL-LESS CLOUD-RADIO ACCESS NETWORK*”** ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam masa perkuliahan dan penelitian, penulis mendapatkan banyak hal baik berupa dukungan, semangat, motivasi, dan banyak hal yang lainnya. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

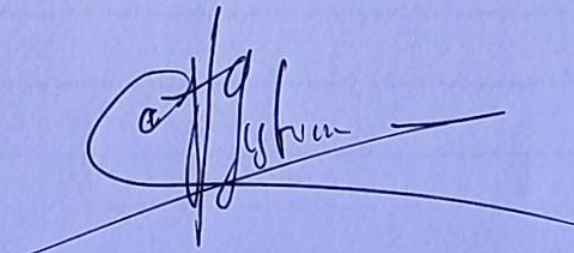
1. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing utama skripsi yang telah dengan sabar dan memberikan begitu banyak waktu untuk membimbing, memberikan ilmu, semangat, motivasi, dan juga arahan.
2. Ibu Yetti Yuniati, S.T., M.T. selaku penguji skripsi yang telah memberikan saran, memberi ilmu motivasi selama masa pendidikan sampai pengujian skripsi.

3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran, kritikan yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi.
4. Segenap dosen dan pegawai di Laboratorium Telekomunikasi yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang tak terlupakan oleh penulis.
5. Teman-teman HIRO 2017 yang sudah menjadi seperti keluarga sendiri, terimakasih segala kebaikan yang sudah diberikan.
6. Mama dan Papa yang selalu support penulis untuk menyelesaikan kuliah ini dalam keadaan mudah dan susah.
7. Kajut yang memberikan kasih sayang, do'a, dan dukungan tiada henti.

Penulis meminta maaf atas segala kesalahan dan ketidaksempurnaan dalam penyusunan tugas akhir ini. Saran dan kritik membangun sangat diharapkan penulis dalam kebaikan di masa yang akan datang, Terimakasih

Bandar Lampung, 3 Februari 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ahmad Luthfi Gustomi', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ahmad Luthfi Gustomi

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
PERSETUJUAN.....	iv
PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Skripsi	6
1.3 Manfaat Skripsi	6
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Batasan masalah	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Kajian Pustaka pada Penelitian yang Berkaitan	9
2.2 Manajemen Sumber daya	13

2.2.1	Manajemen Sumber Daya Radio Intra <i>Cell</i>	14
2.2.2	Manajemen Sumber Daya Radio Inter <i>Cell</i>	15
2.3	<i>Cloud – Radio Access Network (C-RAN)</i>	16
2.4	<i>Cell-less</i>	17
2.5	Resource Block.....	18
2.6	OFDMA (<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>)	20
2.7	<i>Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)</i>	22
2.8	<i>Path Loss</i>	23
2.9	<i>Noise</i>	23
2.10	<i>Spectral Efficiency</i>	24
2.11	<i>Throughput</i>	25
2.12	<i>Fairness</i>	25
2.13	<i>Poisson Process</i>	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2	Alat dan Bahan	28
3.3	Metode Penelitian.....	28
3.3.1	Studi Literatur	29
3.3.2	Pemodelan Sistem	29
3.3.2.1	Skenario 1 (baseline), metode <i>static scheduling</i>	31
3.3.2.2	Skenario 2, metode <i>dynamic scheduling</i> berdasarkan posisi <i>user</i>	32
3.3.2.3	Skenario 3, metode <i>dynamic scheduling</i> berdasarkan beban trafik user	34
3.3.2.4	Skenario 4, metode <i>dynamic scheduling</i> berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik <i>user</i>	36
3.4	Parameter Simulasi.....	38
3.5	Perhitungan SINR (<i>Signal to Interference plus Noise Ratio</i>).....	38
3.6	<i>Path Loss</i>	39
3.7	<i>Noise Power</i>	39
3.8	Parameter Kinerja.....	40
3.8.1	Throughput.....	40
3.8.2	Spectral Efficiency	40
3.8.3	Fairness	41
3.9	Diagram Alir Pengerjaan Skripsi.....	42
3.10	Diagram Alir Simulasi Sistem.....	43

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASANError! Bookmark not defined.

4.1 Hasil Metode Static Scheduling Menggunakan Penjadwalan *Round-robin* pada parameter kinerja SINR, *Throughput*, *Spectral Efficiency*, dan *Fairness* **Error! Bookmark not defined.**

4.2 Hasil Metode *Dynamic Scheduling* Berdasarkan Posisi *User* pada parameter kinerja SINR, *Throughput*, *Spectral Efficiency*, dan *Fairness*.. **Error! Bookmark not defined.**

4.3 Hasil Metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan beban trafik pada parameter kinerja SINR, *Throughput*, *Spectral Efficiency*, dan *Fairness* .. **Error! Bookmark not defined.**

4.4 Hasil Metode *Dynamic Scheduling* Kombinasi Berdasarkan kombinasi Posisi dan Beban Trafik *User* pada parameter kinerja SINR, *Throughput*, *Spectral Efficiency*, dan *Fairness***Error! Bookmark not defined.**

4.5 Perbandingan Hasil Nilai SINR Semua Skenario Simulasi Dengan Perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*)**Error! Bookmark not defined.**

4.6 Perbandingan Hasil Nilai *Throughput* Semua Skenario Simulasi Dengan Perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*)**Error! Bookmark not defined.**

4.7 Perbandingan Hasil Nilai *Spectral Efficiency* Semua Skenario Simulasi Dengan Perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*) **Error! Bookmark not defined.**

4.8 Perbandingan Hasil Nilai *Fairness* Semua Skenario Simulasi Menggunakan *Raj Jain Fairness Index*.....**Error! Bookmark not defined.**

BAB V SIMPULAN DAN SARAN 47

5.1 Kesimpulan..... 47

5.2 Saran 49

DAFTAR PUSTAKA 50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur <i>Cell-less</i> pada C-RAN.....	18
Gambar 2.2 Struktur frame pada bandwidth 1,4 MHz [9]	19
Gambar 3.1 Skenario <i>Scheduling</i> pada CRAN	30
Gambar 3.2 Skenario umum scheduling pada <i>Cell Less</i> C-RAN	31
Gambar 3.3 Skenario 1, <i>static scheduling</i>	32
Gambar 3.4 Metode <i>dynamic scheduling</i> berdasarkan posisi <i>user</i>	33
Gambar 3.5 Metode <i>dynamic scheduling</i> berdasarkan beban trafik	35
Gambar 3.6 Metode <i>dynamic scheduling</i> berdasarkan kombinasi beban trafik dan posisi <i>user</i>	37
Gambar 3.6 Diagram alir pengerjaan skripsi	42
Gambar 3.7 Diagram alir sistem simulasi skenario 1	43
Gambar 3.8 Diagram alir sistem simulasi skenario 2	44
Gambar 3.9 Diagram alir sistem simulasi skenario 3.	45
Gambar 3.10 Diagram alir sistem simulasi skenario 4.	46
Gambar 4.1 Nilai SINR setiap <i>user</i> pada metode <i>Static Scheduling Round-robin</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Nilai SINR metode <i>Static Scheduling Round-robin</i> dengan perhitungan CDF (Cumulative Distribution Function). Error! Bookmark not defined.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3 Nilai <i>Throughput</i> setiap <i>user</i> pada metode <i>Static Scheduling Round- robin</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4 Nilai SINR berbanding dengan <i>Throughput</i> pada skenario simulasi <i>static scheduling round-robin</i>	Error! Bookmark not defined.

- Gambar 4.5 Nilai Throughput metode static scheduling round-robin dengan perhitungan CDF (Cumulative Distribution Function)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.6 Nilai *Spectral Efficiency* setiap user pada metode Static Scheduling Round-robin.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.7 Nilai *Throughput* berbanding dengan *Spectral Efficiency* pada skenario simulasi *static scheduling round-robin*.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.8 Nilai Spectral Efficiency metode static scheduling round-robin dengan perhitungan CDF (Cumulative Distribution Function)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.9 Nilai *Fairness Index* berbanding dengan Jumlah *User* pada skenario simulasi *static scheduling round-robin*.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.10 Nilai SINR setiap *user* pada metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user*.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.11 Nilai SINR metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan posisi *user* dengan perhitungan CDF.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.12 Nilai *Throughput* setiap *user* pada metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan posisi *user*.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.13 Nilai SINR berbanding dengan *Throughput* pada skenario simulasi *Dynamic Scheduling* berdasarkan posisi *user*.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.14 Nilai *Throughput* metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan posisi *user* dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*).**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.15 Nilai *Spectral Efficiency* setiap *user* pada metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan posisi *user*. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.16 Nilai *Throughput* berbanding dengan *Spectral Efficiency* pada skenario simulasi *Dynamic Scheduling* berdasarkan posisi *user*.**Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4.17 Nilai *Spectral Efficiency* metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan posisi *user* dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.18 Nilai *Fairness index* berbanding dengan Jumlah *User* pada skenario simulasi *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.19 Nilai SINR setiap *user* pada metode *dynamic scheduling* berdasarkan beban trafik.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.20 Nilai SINR metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan beban trafik dengan perhitungan CDF.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.21 Nilai *Throughput* setiap *user* pada metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan beban trafik.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.22 Nilai SINR berbanding dengan *Throughput* pada skenario simulasi *Dynamic Scheduling* berdasarkan beban trafik.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.23 Nilai *Throughput* metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan beban trafik dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*).**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.24 Nilai *Spectral Efficiency* setiap *user* pada metode *dynamic scheduling* berdasarkan beban trafik.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.25 Nilai *Throughput* berbanding dengan *Spectral Efficiency* pada skenario simulasi *dynamic scheduling* berdasarkan beban trafik.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.26 Nilai *Spectral Efficiency* metode *dynamic scheduling* berdasarkan beban trafik dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.27 Nilai *Fairness index* berbanding dengan Jumlah *User* pada skenario simulasi *Dynamic Scheduling* berdasarkan beban trafik. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.28 Nilai SINR setiap *user* pada metode *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user*.**Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4.29 Nilai SINR metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* dengan perhitungan CDF..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.30 Nilai *Throughput* setiap *user* pada metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user*. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.31 Nilai SINR berbanding dengan *Throughput* pada skenario simulasi *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user*.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.32 Nilai *Throughput* metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*). **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.33 Nilai *Spectral Efficiency* setiap *user* pada metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user*.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.34 Nilai *Throughput* berbanding dengan *Spectral Efficiency* pada skenario simulasi *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user*.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.35 Nilai *Spectral Efficiency* metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*). **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.36 Nilai *Fairness index* berbanding dengan Jumlah *User* pada skenario simulasi *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user*.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.37 Nilai SINR semua metode pada skenario simulasi dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.38 Perbandingan nilai throughput semua metode pada skenario simulasi dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*).**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.39 Perbandingan nilai *spectral efficiency* semua metode pada skenario simulasi dengan perhitungan CDF (*Cumulative Distribution Function*).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.40 Perbandingan nilai *fairness* semua metode pada skenario simulasi dengan perhitungan Raj Jain *fairness index*.**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Resource block dan sub-carrier pada bandwidth tertentu [10]	20
Tabel 3.2 Parameter yang digunakan dalam simulasi.....	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan pengguna seluler untuk kecepatan data meningkat secara eksponensial. Hal tersebut terbukti dengan banyaknya pengguna yang lebih memilih menggunakan *mobile device* dibandingkan dengan *fixed device* yang dari segi praktisnya semakin lama *fixed device* kurang mendukung mobilitas dan kebutuhan pengguna dengan aktivitasnya. Selain itu, aktivitas pengguna dengan *device* selulernya juga memerlukan akses data berkecepatan tinggi seperti *video streaming*, suara dan video, *game online*, *download* dan *upload* berkapasitas besar hingga layanan pendukung yang memerlukan *data traffic* yang cukup besar dan andal. Hal ini memunculkan tantangan besar bagi penyedia layanan atau *service provider*.

Kebutuhan pengguna seluler tersebut dapat dijawab dengan adanya teknologi 5G. Teknologi ini diharapkan dapat mendukung efisiensi spektrum 3 kali lebih besar dan peningkatan *throughput* hingga 1000 kali lebih besar dari generasi teknologi seluler sebelumnya [1]. Teknologi 5G memiliki *system requirement*, salah satunya adalah pemancar sinyal terletak dan tersebar di mana-mana untuk mencapai efisiensi komunikasi dan kecepatan hingga gigabit per detik. Sebagai penyedia layanan, hal tersebut merupakan tantangan terbesar karena bagian yang paling

penting dalam jaringan nirkabel yaitu *Radio Access Network* (RAN) yang mencakup konektivitas di area yang luas untuk pengguna seluler. Pada umumnya *Capital Expenditure* (CAPEX) dari operator seluler dihabiskan sebanyak 80% pada RAN, dengan mempertimbangkan biaya CAPEX tersebut dan kemampuan operasional yang terbatas maka diperkenalkan *Cloud-Radio Acces Network* (C-RAN).

C-RAN merupakan teknologi akses yang ramah lingkungan karena infrastruktur memisahkan unit pemrosesan yang disebut *Base Band Unit* (BBU) dengan unit pemancar frekuensi radio yang disebut *Remote Radio Head* (RRH). BBU diletakkan di dalam sebuah lingkungan *cloud* yang sangat besar dan terhubung ke RRH yang hanya berfungsi sebagai pemancar frekuensi radio menggunakan *fiber optic* berkecepatan tinggi. Sehingga konsumsi daya untuk operasional sebuah RAN konvensional dapat dikurangi dengan dilakukan pemisahan tersebut sekaligus mewujudkan jaringan komunikasi ramah lingkungan serta efisiensi yang tinggi. Jenis jaringan semacam itu dapat memenuhi tuntutan sistem nirkabel masa depan dengan infrastruktur *cloud* yang *real time* dan teknologi *virtual pool* BS dapat mengurangi biaya, berbagi sumber daya pemrosesan, mengurangi konsumsi energi, dan meningkatkan rasio pemanfaatan infrastruktur [2].

Cara peningkatan efisiensi spektral dan *data rate* pada C-RAN dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan inovatif baru dengan mempertimbangkan jaringan sebagai "*Cell-Less*". Pada jaringan ini sekumpulan sel-sel dapat dilihat sebagai sel hiper daripada sekumpulan sel yang independen satu sama lain.

Pendekatan *cell-less* ini dapat memungkinkan untuk mengelola beberapa sel hanya dengan satu entitas. Dengan demikian, *inter cell interference* dapat dikendalikan sepenuhnya dalam pendekatan yang berorientasi pada multi seluler yang memungkinkan untuk berbagi *resource block* antar RRH dan memungkinkan penggunaan bandwidth yang lebih baik sekaligus secara efisien mengurangi besarnya interferensi yang diterima [3].

Mengurangi atau menghilangkan interferensi pada C-RAN dapat dilakukan dengan mengalokasikan/menjadwalkan sumber daya secara dinamis atau *dynamic scheduling*. Pemilihan sumber daya secara dinamis menjadi tantangan besar dalam teknologi ini dengan mempertimbangkan interferensi yang terjadi. Oleh karena itu, sumber daya yang dialokasikan dengan memanfaatkan *dynamic scheduling* dan dikontrol oleh BBU *pool* dengan syarat BBU harus berada pada BBU *pool* yang sama sehingga koordinasi antar-RRH dapat tercapai untuk saling bertukar data/informasi. *Dynamic scheduling* dapat dilakukan berdasarkan posisi pengguna dalam sebuah jaringan seluler [3]. Hal ini dapat dilakukan dengan membandingkan nilai *signal to interference plus noise ratio* (SINR) yang dialami oleh pengguna dari RRH *intra-cell* dengan RRH eksternal. Sehingga perbandingan yang didapatkan dapat menjadi kriteria prioritas serta pembatalan interferensi pada algoritma penjadwalan yang digunakan.

Metode *dynamic scheduling* dengan mempertimbangkan posisi pengguna di dalam *cell* dilakukan dengan membandingkan SINR pengguna yang berubah-ubah secara dinamis ketika posisi pengguna berubah. Manajemen interferensi dapat tercapai,

nilai SINR yang sudah ada akan selalu berubah sehingga menambah kompleksitas dari sistem. Metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi ini dirancang untuk memaksimalkan *throughput* sistem tanpa memperhitungkan *fairness* atau keadilan antar-pengguna di mana pengguna yang memiliki SINR terbaik atau posisinya dekat dengan RRH akan selalu dilayani oleh RRH-nya sedangkan pengguna yang memiliki SINR buruk tidak akan mendapatkan alokasi sumber daya sama sekali. Namun skema ini menunjukkan *fairness* atau keadilan yang buruk, khususnya ketika pengguna berada di lokasi berbeda. Pengguna yang dekat dengan *access point* (AP) akan memiliki prioritas yang adil dibandingkan dengan pengguna yang posisinya jauh dari AP. Dengan demikian selain algoritma penjadwalan berdasarkan posisi, algoritma penjadwalan juga dapat dilakukan berdasarkan *traffic load* (beban trafik) pengguna. Pada skema penjadwalan berbasis beban trafik, *bandwidth* dialokasikan kepada pengguna dengan beban trafik terbesar. Algoritma penjadwalan ini bertujuan untuk mencoba memaksimalkan *throughput* total jaringan sambil menjaga keadilan atau *fairness* antar-pengguna, sehingga memungkinkan untuk semua *user* mendapatkan alokasi sumber daya.

Berdasarkan uraian di atas, skripsi ini dimaksudkan untuk melakukan analisis interferensi dan meningkatkan *fairness* antar-pengguna dengan menggunakan metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user*, beban trafik *user* dan kombinasi posisi dan beban trafik *user* pada teknologi *cell-less cloud-radio access network*. Hipotesa awal yaitu pada metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user* dengan pendekatan *cell-less* akan meningkatkan kualitas dan kapasitas sistem dengan menyediakan alokasi sumber daya yang lebih akurat dengan cara

mengizinkan atau mencegah penjadwalan untuk mengalokasikan sumber daya sesuai dengan posisi *user*. Pengalokasian sumber daya yang berbasis dari posisi *user* bertujuan untuk mendapatkan kualitas sinyal yang lebih baik dan menghindari interferensi, terutama pada *user* di pinggir *cell* karena mengalami interferensi yang sangat besar dari RRH di *cell* tetangganya. Sehingga *dynamic scheduling* membuat *user* terhindar dari interferensi dengan mengizinkan alokasi sumber daya pada *user* dengan nilai interferensi terkecil dan mencegah alokasi sumber daya pada *user* dengan nilai interferensi tertinggi [3]. Namun skema ini menunjukkan *fairness* atau keadilan yang buruk, karena algoritma penjadwalan tidak mempertimbangkan keadilan antar-pengguna. Penjadwalan juga dapat dilakukan berdasarkan beban trafik pengguna, pada skema penjadwalan berbasis beban trafik, *bandwidth* dialokasikan kepada pengguna dengan beban trafik terbesar. Tujuan penjadwalan berdasarkan beban trafik ini adalah untuk mendistribusikan sumber daya ke semua user dengan secara adil dan efisien untuk memaksimalkan keadilan antar user pada sistem [4].

Pengalokasian sumber daya berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik pada *cell-less cloud-radio access network* tidak akan hanya meningkatkan kualitas dan kapasitas sistem tapi akan juga meningkatkan keadilan atau *fairness* antar *user*. Dengan mengkombinasikan algoritma penjadwalan berdasarkan posisi dan beban trafik *user* ini akan memperbaiki algoritma berdasarkan posisi *user* yang memiliki keadilan antar *user* yang buruk dan algoritma berdasarkan beban trafik yang memiliki *throughput* yang rendah dengan memastikan keadilan dan *throughput* yang tinggi ke semua *user* [4]. Dengan kombinasi dua metode yang berbeda

tersebut, maka diharapkan akan didapatkan kualitas dan kapasitas yang baik ketika menggabungkan dua metode tersebut ke dalam satu sistem.

1.2 Tujuan Skripsi

Adapun tujuan penelitian pada skripsi ini adalah melakukan simulasi untuk menguji dan menganalisa nilai *Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)*, *throughput*, *spectral efficiency*, dan *fairness* untuk metode *Dynamic scheduler* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* untuk meningkatkan kualitas, kapasitas dan keadilan jaringan pada sistem *Cell-Less Cloud-Radio Access Network*;

1.3 Manfaat Skripsi

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini yaitu:

1. Mendapatkan solusi untuk meningkatkan kapasitas sistem yang terjadi pada skenario simulasi;
2. Dapat menguji skenario simulasi dengan *software Matlab*;
3. Meningkatkan kapasitas sistem dan mengurangi interferensi sehingga menghasilkan peningkatan kapasitas sistem dan jaringan yang baik untuk pengguna.

1.4 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penulisan skripsi ini adalah:

1. Bagaimana merancang algoritma yang baik untuk metode *Dynamic Scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* pada Cell-less C-RAN;
2. Bagaimana pembuatan skenario manajemen sumber daya intra dan inter seluler

pada *Cell-less*;

3. Bagaimana menentukan parameter simulasi pada jaringan yang digunakan.

1.5 Batasan masalah

Adapun batasan masalah pada penulisan skripsi ini yaitu:

1. Jaringan *cell-less* hanya mempertimbangkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* untuk mengalokasikan sumber daya kepada *user*;
2. Interferensi dianalisis pada arah *downlink* dengan menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*;
3. Tidak mempertimbangkan mobilitas *user*;
4. Parameter yang digunakan sesuai dengan parameter pada *LTE-Advanced*;
5. Jumlah *user* yang dipertimbangkan adalah 100 *user* tersebar acak dalam sistem yang dibuat.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

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

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat tinjauan literatur dari beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik pada skripsi ini, seperti pengertian *Cell-Less*, *Radio Access Network*, konsep dasar RAN dan *Cloud-Radio Access Network*, Manajemen

Sumber Daya, teknik OFDMA, metode *dynamic Scheduling*, SINR, *throughput*, *spectral efficiency*, dan *fairness*.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka pada Penelitian yang Berkaitan

Penelitian tentang manajemen interferensi menggunakan metode *scheduling* ini mengacu pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian-penelitian tersebut membahas tentang beberapa metode untuk mengurangi efek interferensi yang terjadi dengan metode *scheduling* yang baik.

Penulis pada [5] dalam penelitiannya yang berjudul “*Dynamic Resource Scheduling in Cloud Radio Access Network with Mobile Cloud Computing*” menyajikan sebuah solusi untuk mengurangi konsumsi daya, menangani peningkatan trafik seluler dan menyediakan *Quality of Service* (QoS) yang lebih baik dengan mengintegrasikan *cloud radio access network* (C-RAN) dengan teknologi *mobile cloud computing* (MCC). Dalam penelitian ini, penulis menyajikan kerangka kerja terintegrasi untuk mengoptimalkan *tradeoff* kinerja daya MSP` (*Mobile Service Provider*) dengan bersama-sama menjadwalkan sumber daya jaringan di C-RAN dan sumber daya komputasi di MCC untuk meminimalkan konsumsi daya MSP sambil tetap menjamin QoS untuk pengguna seluler dengan adanya permintaan tak terduga dari

pengguna dan melonjaknya biaya konsumsi daya dan mengoptimalkan pertukaran antara kinerja dan daya yang diperlukan untuk meminimalkan konsumsi daya MSP sambil tetap menjamin QoS untuk pengguna seluler juga diperlukan cara menjadwalkan setiap tautan *fronthaul* dengan beralih ke status ON untuk mengirimkan permintaan ke kumpulan BBU dan status OFF untuk menolak permintaan pengguna untuk konservasi daya *fronthaul*, cara mengirimkan permintaan yang diterima dari pengguna yang berbeda ke server terkait di *cloud* seluler yang berbeda, dan cara menjadwalkan setiap server dengan beralih ke status berjalan untuk memproses permintaan atau status siaga untuk konservasi daya server. Untuk mengatasi tantangan tersebut, penulis pada [5] menerapkan teknik optimasi Lyapunov untuk merancang *Resource online sCHeduling algorithm* (RICH) yang menjadwalkan tautan *fronthaul*, BBU *Dispatcher*, dan server secara independen dan bersamaan, semata-mata berdasarkan keadaan sistem. Penulis tersebut menghadirkan kerangka optimasi pemersatu untuk memaksimalkan keuntungan MSP yang mengelola sistem jaringan (C-RAN) dan sistem komputasi (MCC), dan merancang algoritma RICH untuk optimalisasi bersama dari penjadwalan tautan *fronthaul*, pengiriman permintaan, dan penjadwalan server, yang dapat secara efisien menangani permintaan pengguna seluler yang tidak dapat diprediksi dan bervariasi waktu.

Penulis pada [6] menyajikan solusi untuk mengurangi konsumsi energi dalam penelitiannya yang berjudul “*QoS-aware Joint BBU-RRH Mapping and User Association in Cloud-RANs*”. Untuk memanfaatkan keunggulan C-RAN, setiap BBU dapat diaktualisasikan oleh *virtual machine* (VM), yaitu virtual BBU (VB).

VB dapat dimulai dan dimatikan sesuai kebutuhan untuk melayani sekelompok RRH (yaitu, pemetaan banyak-ke-satu antara RRH dan BBU). RRH dapat diubah menjadi mode tidur untuk mengurangi konsumsi energi. Dalam penelitiannya, penulis pada [6] mengoptimalkan pemetaan BBU-RRH dan asosiasi pengguna dengan tujuan untuk meminimalkan biaya operasional sistem energi dari RRH dan penyewaan VB di bawah batasan *quality of service* (QoS), yang dirumuskan sebagai bilangan bulat masalah integer *linear programming* (ILP). Selanjutnya, penulis tersebut menguraikan masalah bersama menjadi dua submasalah dan merancang algoritma yang efisien waktu untuk menyelesaikan masalah tersebut. penulis mempertimbangkan pemetaan *QoS aware joint* BBU-RRH dan masalah asosiasi pengguna di C-RAN di mana persyaratan QoS pengguna dimodelkan sebagai penundaan dua antrian secara bersamaan, termasuk antrian pemrosesan BBU dan antrian transmisi RRH dengan lalu lintas data yang heterogen. Tujuannya adalah meminimalkan biaya sistem yang disebabkan oleh RRH dan kumpulan BBU. Untuk mengurangi biaya sistem, RRH dapat diubah menjadi mode tidur dan VB dapat dimatikan untuk menghemat energi saat tidak ada trafik.

Penulis pada [7] dengan penelitiannya yang berjudul “*A Dynamic Transmission Strategy Based on Network Slicing for Cloud Radio Access Networks*”. mengusulkan strategi transmisi *hybrid* di mana *resource units* (RU) dari setiap frame dipartisi dalam dua bagian. Yang pertama merupakan bagian yang tidak dibagikan dan dialokasikan ke *cell center users* (CCU) sesuai dengan pemetaan logis satu-ke-satu. Irisan kedua dibentuk oleh sejumlah RU yang dibagikan oleh sekelompok *remote radio heads* (RRH) yang termasuk dalam *baseband unit* (BBU)

yang sama. Irisan umum terakhir ini ditransmisikan sesuai dengan pemetaan satu-ke-banyak untuk dialokasikan ke *cell edge users* (CEU) dan ke *mobile users* (MU). Penulis tersebut juga menyajikan solusi fleksibel yang secara dinamis menyesuaikan skema pemetaan BBU-RRH (yaitu, satu-ke-satu, satu-ke-banyak atau *hybrid*) berdasarkan penggunaan sumber daya radio BBU. Dengan kata lain, penelitian pada [7] menyesuaikan kondisi sesuai dengan beban jaringan, mengambil keuntungan dari pemetaan satu-ke-banyak pada kondisi beban rendah dan pemetaan satu-ke-satu pada kondisi beban tinggi. Di satu sisi, solusi yang diusulkan mencapai penundaan paket yang rendah dengan konfigurasi satu-ke-satu, sambil memberikan konsumsi daya dan frekuensi serah terima yang lebih rendah. Di sisi lain, dibandingkan dengan konfigurasi satu-ke-banyak, teknik yang diusulkan memberikan penundaan paket yang lebih rendah dan *Quality of Service* (QoS) yang lebih baik.

Penulis pada [3] melakukan penelitian yang berjudul “*Dynamic Cell-Less Radio Access Network Meta-Scheduler for High System Capacity Increase*”. Penelitian ini menyajikan model *dynamic scheduling* yang dapat membatalkan interferensi yang terjadi di dalam *cell* maupun antara *cell* itu sendiri. Penulis tersebut menyajikan solusi ini untuk menjawab tantangan interferensi di mana manajemen *inter cell interference* yang dilakukan dalam domain *intra cell* sering menyebabkan pemborosan *bandwidth* karena frekuensi yang dialokasikan sebelumnya dan solusi statis tidak dapat bereaksi terhadap distribusi seluler dan status seluler. Solusi yang penulis pada [3] usulkan adalah menggabungkan penjadwalan *intra cell* dan manajemen *inter cellular interference* dengan mengendalikan sekelompok sel.

Strategi yang dilakukan adalah dengan mempertimbangkan jaringan sebagai “*Hyper-Cell*” daripada sekumpulan sel yang independen. Strategi ini sering disebut “*Cell-Less*” sangat efektif dalam arsitektur Cloud Radio Access Network (C-RAN) karena memungkinkan untuk memusatkan pengambilan keputusan. Solusi yang diusulkan secara dinamis menangani pengelolaan sumber daya radio untuk setiap sel tergantung pada gangguan yang berpotensi dialami oleh pengguna. Penjadwal yang dipilih adalah MaxSNR karena kemampuannya untuk meningkatkan kapasitas sistem. *Dynamic Cell-Less Radio Access Network Meta-Scheduler for High System Capacity Increase* (DC-RAN-MS) melakukan alokasi sumber daya secara bijak dengan menyediakan manajemen interferensi yang lebih akurat sesuai dengan kemungkinan bahwa user tidak dapat diganggu, besarnya gangguan dan spektral efisiensi yang dialami. Hal ini mengarah pada pengambilan keputusan di mana alokasi sumber daya ke semua user ketika interferensi tidak signifikan atau hanya mengizinkan satu user ketika status saluran buruk. Dengan demikian DC-RAN-MS mengoptimalkan penggunaan bandwidth, mengurangi gangguan yang dialami dan melindungi pengguna yang paling terpengaruh. Ini mengarah pada peningkatan kapasitas sistem dan QoS.

2.2 Manajemen Sumber daya

Manajemen sumber daya merupakan sebuah strategi dan algoritma untuk mengontrol parameter-parameter seperti daya pancar, alokasi sumber daya *user*, *beamforming*, *data rates*, *handover*, dan skema modulasi pada sistem seluler. Tujuan dari manajemen sumber daya adalah untuk memanfaatkan sumber daya spektrum frekuensi radio dan infrastruktur jaringan radio yang terbatas dengan

seefisien mungkin. Manajemen sumber daya dari jaringan seluler melibatkan pembangunan dan pemeliharaan jaringan yang baik antara *base station* dengan *user* (dengan mempertimbangkan kebutuhan pengguna tersebut), menangani komunikasi antar sel sehingga kinerja sistem dimaksimalkan, secara umum mempertimbangkan kondisi spektral dan mampu menangani variasi beban jaringan. Manajemen sumber daya radio dapat dilakukan dengan dua cara yaitu inter *cell* untuk skenario *multi cell* dan intra *cell* untuk skenario *single cell*.

2.2.1 Manajemen Sumber Daya Radio Intra Cell

Pada intra *cell*, manajemen sumber daya radio dapat dilakukan dengan *scheduling*. Ada banyak macam algoritma yang digunakan di penjadwalan sumber daya *downlink*. Umumnya, algoritma bertujuan untuk memaksimalkan *throughput* sekaligus mempertahankan *fairness* antar-pengguna. Manajemen sumber daya radio dilakukan dalam sel terdiri dari beberapa langkah:

- Setiap UE (User Equipment) mentransmisikan informasi kualitas saluran per RB (*resource block*) dan persyaratannya ke *base station*.
- *Base station* kemudian mengkonversikan CQI (*Channel Quality Information*) menjadi perkiraan *data rate* ke setiap *user*.
- Algoritma penjadwalan mengalokasikan RB spesifik ke UE tertentu sehingga memaksimalkan kapasitas sel, keadilan, dan persyaratan QoS lainnya.

Penjadwalan multi-pengguna mengontrol alokasi sumber daya frekuensi dan waktu antar-pengguna setiap saat. Penjadwalan terletak di *base station* dan menetapkan sumber daya *downlink*. Penjadwalan menentukan pengguna mana yang mendapatkan sumber daya (waktu dan frekuensi) untuk setiap TTI

(*Transmission Time Interval*) (1 milidetik). Berikut merupakan beberapa penjadwalan multi pengguna yang paling sering digunakan:

Round Robin (RB)

Penjadwalan round robin menetapkan RB per pengguna dan kemudian merotasi pengguna dalam antrian sampai semua RB dialokasikan [8]. Dengan cara ini setiap pengguna mendapatkan jumlah sumber daya yang sama. Penjadwalan ini tidak menggunakan *feedback* dari UE berupa CQI dengan demikian tidak memiliki kontrol pada kualitas sumber daya yang ditetapkan, membuat algoritma ini bersifat statis.

Proportional Fair (PF)

Penjadwalan ini dirancang untuk menghasilkan *throughput* yang tinggi dengan tetap menjaga keadilan antar-pengguna [8]. PF menjadwalkan pengguna ketika mereka berada pada *data rates* tertinggi relatif terhadap rata-rata *data rates* mereka sendiri, pada waktu tertentu t .

MaxSNR

Penjadwalan ini adalah algoritma serakah yang di mana mengalokasikan setiap RB kepada pengguna yang memiliki kualitas jaringan tertinggi [8]. Pada algoritma ini *throughput* sel dimaksimalkan tetapi penjadwalan tidak berusaha untuk menetapkan sumber daya secara merata dan dengan demikian keadilan antar-pengguna buruk.

2.2.2 Manajemen Sumber Daya Radio Inter Cell

Pada intra *cell* manajemen sumber daya dapat dilakukan dengan menggunakan manajemen interferensi. Dalam jaringan homogen konvensional, ini diperoleh

dengan cara perencanaan jaringan yang cermat. Dalam jaringan yang lebih modern hal ini tidak memungkinkan lagi karena setiap sel menggunakan spektrum penuh, ditambah lagi dengan diperkenalkannya *small cell*. Posisi dan kemampuan beberapa BS mungkin tidak diketahui.

Jaringan *full reuse* seperti pada LTE dan LTE-A sangat dibatasi oleh interferensi dan pengenalan *small cell* memperburuk masalah ini karena biasanya ditempatkan dalam area cakupan yang lebih besar. Tidak adanya koordinasi *real-time* antara *small cell* dan seluruh jaringan juga menambah lapisan kompleksitas baru pada manajemen sumber daya. Dua tantangan teknis utama, mengenai manajemen sumber daya radio antar RRH adalah bagaimana mengelola sumber daya spektral setiap sel secara dinamis sehingga *inter cell interference* (ICI) diminimalkan dan beban jaringan seimbang.

2.3 Cloud – Radio Access Network (C-RAN)

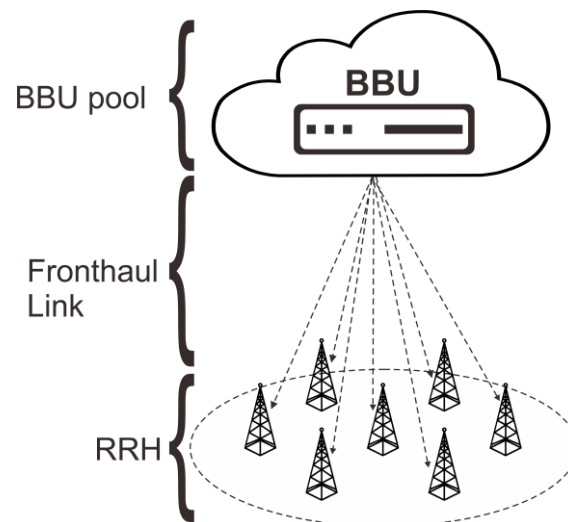
C-RAN (*Cloud-Radio Access Network*) adalah arsitektur berbasis *cloud computing* yang terpusat untuk jaringan RAN (Radio Access Network). C-RAN terinspirasi oleh komputasi terpusat teknologi saat ini di mana semua sumber daya yang ada dikumpulkan sehingga dapat diakses oleh semua *base station*. Alasan utama pendekatan ini adalah untuk merancang solusi RAN yang lebih murah, dan lebih hemat energi, sambil menawarkan kemungkinan untuk merancang jaringan dengan peningkatan kapasitas berdasarkan pembagian sumber daya dan adaptasi terhadap trafik yang tidak seragam. Pada C-RAN *base station* dibagi menjadi *Remote Radio Head* (RRH) dan *Base Band Unit* (BBU). RRH adalah komponen yang bertanggung jawab untuk penguatan daya, penyaringan, konversi digital ke analog dan analog

ke digital. BBU memiliki fungsi seperti modulasi dan pengkodean. Solusi ini menghasilkan konsumsi daya yang lebih rendah dan penempatan BBU yang lebih fleksibel. Inovasi yang dihadirkan C-RAN ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan BBU di BS. Untuk mencapai itu, BBU *Pool* (Kumpulan BBU) divirtualisasikan dan dibagikan ke semua RRH. Dengan demikian, memungkinkan untuk membedakan pendekatan orientasi C-RAN. Pertama adalah *one-to-one logical mapping* di mana satu BBU ditugaskan untuk satu RRH, meskipun BBU dikumpulkan di BBU pool yang sama, pemetaan ini hanya memungkinkan untuk mengelola satu RRH pada waktu yang sama yang mampu mengurangi biaya pemeliharaan. Hal ini membuat manajemen ICI (*Inter Cell Interference*) memiliki perilaku statis. Akibatnya, tidak cocok untuk bereaksi terhadap variasi keadaan kanal dan mobilitas pengguna. Pendekatan lain adalah *one-to-many logical mapping*, di mana satu BBU ditugaskan ke beberapa RRH. Pada pendekatan ini *cell-cell* menjadi satu set jalur akses dan pengambilan keputusan untuk cluster sepenuhnya terpusat. Dengan cara ini, pendekatan dengan pemetaan *one-to-many* memungkinkan untuk mengelola sel dengan hanya satu entitas.

2.4 Cell-less

Konsep *cell-less* merupakan pengembangan dari arsitektur C-RAN, seperti digambarkan pada Gambar 2.1, di mana *baseband unit* (BBU) terpusat mengelola alokasi sumber daya radio, kontrol daya, dan konfigurasi UL/DL yang menawarkan pengalaman pengguna yang optimal. Dalam pengaturan komunikasi ini, semua *remote radio head* (RRH) terhubung satu sama lain untuk membentuk arsitektur jaringan tanpa sel yang memungkinkan RRH berkolaborasi untuk secara bersamaan

melayani semua perangkat terminal dalam area jangkauannya [3]. Pemrosesan sinyal pengguna (baik *encoding* atau *decoding*) dilakukan di *baseband unit pool* (BBU Pool) yang melakukan tugas pemrosesan tahap terakhir untuk mengkodekan sinyal dari pemancar nirkabel penerima.



Gambar 2.1 Arsitektur *Cell-less* pada C-RAN

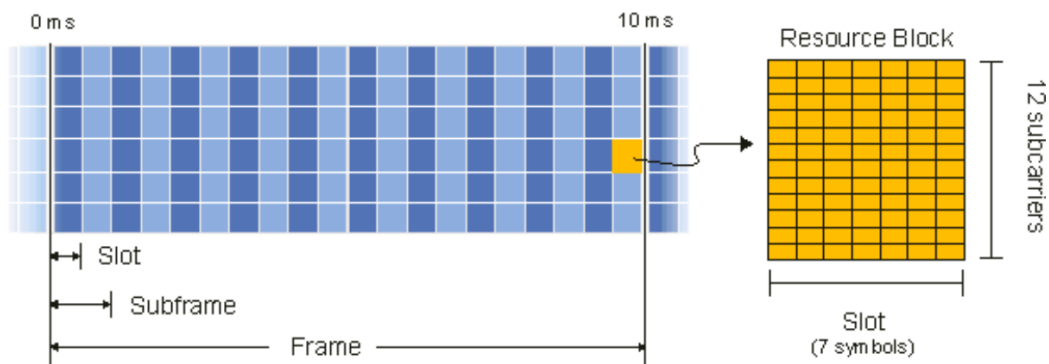
Konsep dari *cell-less* memungkinkan *user* untuk memanfaatkan sumber daya dari beberapa *access point* (AP) untuk memenuhi permintaan trafik pengguna. Selain itu, arsitektur tanpa sel dapat memutuskan secara dinamis dalam mengatur daya transmisi *base station* untuk menyediakan konektivitas yang lebih luas dan mengurangi beban *base station*.

2.5 Resource Block

Resource Block (RB) adalah unit daya terkecil yang dapat dialokasikan untuk satu *user*. *Resource Block* memiliki lebar frekuensi 180 kHz dan panjang 1 slot. Dalam frekuensi, *Resource block* terdiri dari 12 *sub-carrier* x 15 KHz atau 24 *sub-carrier* x 7,5 KHz. *Frame* merupakan interval waktu terpanjang di sistem LTE. Dalam

sebuah *frame* umumnya memiliki nilai 10 ms atau 10 slot. Bagian terkecil dari *frame* LTE adalah 1 slot dengan waktu 0,5 ms. Satu *subframe* terdiri dari 2 slot dengan waktu sebesar 1 ms.

Frequency unit dapat diekspresikan dalam jumlah *sub-carrier* atau *Resource Block*. Misalnya, sinyal *downlink* untuk 5 MHz dapat digambarkan sebagai 25 *Resource Block* atau 301 *sub-carrier* (*Sub-carrier* DC atau *Direct Current* tidak termasuk dalam *Resource Block*). *Data carrier* yang mendasari kerangka LTE adalah *Resource Element* (RE). *Resource Element* bernilai satu *sub-carrier* dan 1 simbol OFDM atau *slot* merupakan bagian diskrit terkecil dari *frame* dan berisi nilai kompleks tunggal yang mewakili data sinyal. Gambar 2.2 merupakan contoh *frame* untuk *bandwidth* 1,4 MHz.



Gambar 2.2 Struktur frame pada bandwidth 1,4 MHz [9]

Banyaknya jumlah *RB* tergantung pada *bandwidth* yang akan digunakan. Semakin besar *bandwidth*, maka semakin besar juga *RB* yang tersedia. Sehingga, semakin besar sebuah sistem yang memiliki *resource block*, maka semakin besar juga *throughput* yang dihasilkan. Tabel 2.1 menunjukkan berapa banyak *sub-carrier* dan *Resource block* di setiap *bandwidth* untuk *uplink* dan *downlink*.

Tabel 2.1 Resource block dan sub-carrier pada bandwidth tertentu [10]

Bandwidth	Resource Blocks	Subcarriers (downlink)	Subcarriers (uplink)
1.4 MHz	6	73	72
3 MHz	15	181	180
5 MHz	25	301	300
10 MHz	50	601	600
15 MHz	75	901	900
20 MHz	100	1201	1200

Untuk sinyal *downlink*, *sub-carrier DC (Direct Current)* tidak ditransmisikan, tetapi dihitung dalam jumlah *sub-carrier*. Untuk *uplink*, *sub-carrier DC* tidak ada karena seluruh spektrum digeser ke bawah dalam frekuensi setengah dari jarak *sub-carrier* [10].

2.6 OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

OFDM adalah sebuah teknik pengembangan dari *FDM (frequency Division Multiple)*, yaitu *user* dan *sub-carrier* yang disusun secara *orthogonal* untuk mengirim beberapa simbol data secara paralel sehingga menghasilkan efisiensi spektral yang lebih baik. Sampel dari sinyal *OFDM* yang ditransmisikan dapat diperoleh dengan melakukan operasi *IFFT (inverse Fast Fourier Transform)* pada kelompok simbol data yang akan dikirim pada *sub-carrier orthogonal*.

Dalam sistem *OFDM*, sumber daya waktu dan frekuensi digunakan untuk memisahkan beberapa sinyal *user*. Grup simbol *OFDM* atau grup *sub-carrier* adalah unit yang digunakan untuk memisahkan transmisi ke atau dari banyak *user*. Sinyal *user* dipisahkan dalam domain waktu dengan menggunakan berbagai simbol

OFDM atau dalam *domain sub-carrier*. Dengan demikian, sumber daya waktu dan frekuensi digunakan untuk mendukung transmisi *multi-user*.

Dalam sistem OFDMA, beberapa sinyal *user* dipisahkan dalam domain waktu atau frekuensi. Biasanya, beberapa deretan dalam sistem OFDMA akan terdiri dari beberapa simbol OFDM. *Sub-carrier* dan periode simbol OFDM adalah unit alokasi terbaik dalam frekuensi dan domain waktu. Oleh karena itu, banyak *user* dialokasikan slot yang berbeda dalam domain waktu dan frekuensi, yaitu berbagai kelompok *sub-carrier* atau simbol OFDM digunakan untuk mentransmisikan sinyal ke atau dari beberapa *user* [11].

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah format modulasi efisien yang digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel modern termasuk 5G. OFDM menggabungkan keunggulan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dan *Frequency Division Multiplexing* (FDM) untuk menghasilkan sistem komunikasi berkecepatan data tinggi. QAM mengacu pada berbagai jenis modulasi spesifik: BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 16QAM (16-state QAM), 64QAM (64-state QAM). Operasi ini menghasilkan simbol OFDM, yang akan dikirim. Lalu, simbol-simbol tersebut dikonversi dari frekuensi ke domain waktu dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT). Namun sebelum transmisi, *cyclic prefix* disertakan dalam simbol OFDM untuk menghindari interferensi *intersymbol*. *Cyclic prefix* dalam LTE memiliki nilai $5,2 \mu\text{s}$ pada simbol pertama, $4,7 \mu\text{s}$ untuk sisanya dan *Cyclic prefix* yang diperluas untuk sel yang lebih besar [12].

2.7 *Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)*

Dalam teori informasi dan teknik telekomunikasi, *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) adalah besaran yang digunakan untuk memberikan batas atas teoritis pada kapasitas kanal (atau laju transfer informasi) dalam sistem komunikasi nirkabel seperti jaringan analog dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang sering digunakan dalam sistem komunikasi kabel. SINR didefinisikan sebagai daya sinyal dibagi dengan jumlah daya interferensi (dari semua sinyal interferensi lainnya) dan daya noise. Jika daya noise adalah nol, maka SINR menjadi *Signal to Interference Ratio* (SIR). Sebaliknya, nol interferensi menjadikan SINR ke SNR, yang lebih jarang digunakan ketika mengembangkan model matematika dari jaringan nirkabel seperti jaringan seluler.

SINR biasanya didefinisikan untuk pengguna pada arah downlink. Secara Khusus, untuk pengguna yang terletak di beberapa titik x di dalam atau luar ruangan, maka SINR yang sesuai diberikan oleh:

$$SINR = \frac{P_s PL_s}{\sum P_i PL_i + n} \quad (2.1)$$

Di mana:

P_s = Daya pancar RRH yang dipancarkan,

PL_s = *Path loss* pada *user* yang diamati,

P_i = Daya pancar RRH yang menyebabkan interferensi,

PL_i = *Path loss* dari RRH yang menginterferensi

n = Daya noise yang mungkin berupa konstanta acak.

Seperti rasio lain dalam bidang teknik elektronika dan bidang terkait, SINR sering dinyatakan dalam desibel atau dB [13].

2.8 Path Loss

Path loss merupakan faktor penting mengenai manajemen energi, yaitu daya keluaran *radio frequency* (RF) maksimum, dan kualitas transmisi data, untuk komunikasi nirkabel. *Path loss* sebagai indikator kualitas saluran komunikasi dipengaruhi oleh segala jenis materi di dalam jalur sinyal. Jalur transmisi secara keseluruhan dapat dibagi menjadi jalur *direct line of sight* (LOS) dan *indirect non-line of sight* (NLOS), yang dapat terjadi karena pemantulan, difraksi, dan refraksi. Formula *path loss* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$P_L = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 27,55 \quad (2.2)$$

di mana:

P_L = *path loss*;

d = jarak antara user ke RRH ;

f = frekuensi kerja.

2.9 Noise

Noise adalah sinyal yang tidak diharapkan yang muncul ketika proses transmisi antara BS dan *user* terjadi. Terdapat beberapa kategori *noise*, yaitu *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 (2.3) berikut [14]:

$$N_o = kT \text{ (Watt/Hz)} \quad (2.3)$$

di mana:

N_0 = daya *noise thermal*,

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

T = temperatur absolut (K), pada suhu ruang $T = 290$ K.

Sehingga nilai *noise* dalam desibel:

$$N_0 = 10 \log_{10} (1,3803 \times 10^{-23} \times 290) = -204 \text{ dBW/Hz} = -174 \text{ dBm/Hz}$$

Daya *noise* (N) pada temperatur (T) dan *bandwidth* (Bw) dinyatakan melalui

Persamaan (2.4) berikut [14].

$$\begin{aligned} N &= k.T.Bw = N_0.Bw & (2.4) \\ &= -174 \text{ dBm/Hz} \times Bw \end{aligned}$$

2.10 Spectral Efficiency

Spectral efficiency atau efisiensi spektrum mengacu pada tingkat informasi yang dapat ditransmisikan melalui bandwidth tertentu dalam sistem komunikasi tertentu.

Ini adalah ukuran seberapa efisien spektrum frekuensi terbatas digunakan oleh protokol lapisan fisik, dan kadang-kadang oleh *media access control* (MAC).

Perhitungan *spectral efficiency* menggunakan rumus Shannon dijelaskan pada persamaan (2.5) [7]:

$$\eta = \log_2(1 + SINR) \quad (2.5)$$

di mana:

η = *spectral efficiency*

$SINR$ = *Signal to noise plus interference ratio*.

2.11 *Throughput*

Throughput menurut definisi adalah kecepatan data maksimum yang ditransmisikan oleh sistem komunikasi. Secara teoritis itu sama dengan kapasitas kanal *Shannon-Hartley*. *Throughput* juga dapat didefinisikan dengan besarnya jumlah data yang diterima per satuan waktu atau kecepatan data maksimum yang ditransmisikan oleh sistem komunikasi. Perhitungan *throughput* (C) dalam teori yaitu berdasarkan persamaan *Shannon-Hartley* yaitu menghubungkan kapasitas maksimum (laju bit transmisi) yang dapat dicapai melalui kanal tertentu dengan karakteristik noise dan *bandwidth* tertentu. Untuk kanal AWGN, kapasitas maksimum diberikan oleh persamaan (2.6).

$$C = Bw \cdot \log_2(1 + SINR) \quad (2.6)$$

di mana:

C = kapasitas maksimum *channel* dalam bit / detik;

Bw = *bandwidth* dalam Hertz;

$SINR$ = *Signal to noise plus interference ratio*($SINR$)

Kapasitas kanal C disebut juga dengan batas kapasitas *Shannon* untuk kanal yang diberikan [15].

2.12 *Fairness*

Fairness digunakan untuk menentukan apakah pengguna menerima bagian dari sumber daya sistem. Untuk mengevaluasi keadilan antara pengguna, indeks keadilan Raj Jain diasumsikan seperti yang didefinisikan pada persamaan (2.7) sebagai berikut [16]:

$$f(T_1, T_2, \dots, T_N) = \frac{[\sum_{i=0}^N T_i]^2}{\sum_{i=0}^N (T_i)^2} \quad (2.7)$$

di mana:

N = Jumlah total *user*;

T_i = waktu rata rata throughput dari user ke- i .

2.13 Poisson Process

Probabilitas di mana *user* menghasilkan n paket pada waktu t ditunjukkan sebagai berikut jika jumlah pembangkitan mengikuti distribusi *poisson*.

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad (2.8)$$

di mana:

$P_n(t)$ = Probabilitas paket dibangkitkan pada interval waktu t ;

λ = nilai ekspektasi;

n = jumlah kejadian ($n=0, 1, 2, \dots$).

Dan nilai ekspektasi dari interval generasi menjadi $1/\lambda$ karena interval pembangkitan menjadi distribusi eksponensial. Probabilitas di mana tidak ada paket yang dibangkitkan selama periode dari waktu 0 hingga t diberikan sebagai berikut:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

Probabilitas bahwa paket pertama dihasilkan setelah waktu t diberikan sebagai berikut:

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.10)$$

Probabilitas dari $P(t)$ didapatkan pada persamaan (2.10). Dalam simulasi, waktu pembangkitan paket diperlukan. Waktu dihitung dari persamaan (2.10) pada t .

$$x = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.11)$$

Dengan begitu kita dapat memperoleh waktu pembangkitan paket menjadi:

$$t = -\frac{1}{\lambda} \times \log(\mathbf{1} - x) \quad (2.12)$$

di mana x merupakan bilangan acak seragam antara 0 sampai 1.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengerjaan skripsi dilaksanakan pada waktu dan tempat sebagai berikut:

Waktu : Juli 2022 – Desember 2022,

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

3.2 Alat dan Bahan

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

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

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian dari skripsi ini memiliki beberapa tahapan kerja yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

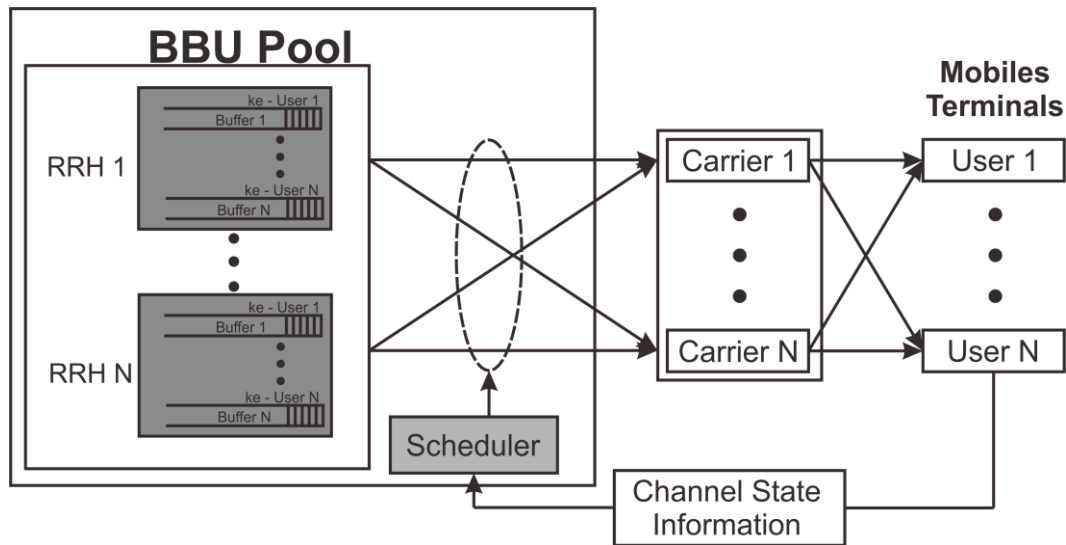
3.3.1 Studi Literatur

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

- a. Konsep dasar *scheduling*;
- b. Konsep *scheduling* pada C-RAN;
- c. Interferensi pada C-RAN;
- d. Perhitungan SINR, *throughput*, *spectral efficiency*, dan *fairness* ;
- e. Metode *dynamic scheduling* berdasarkan beban trafik dan posisi user.

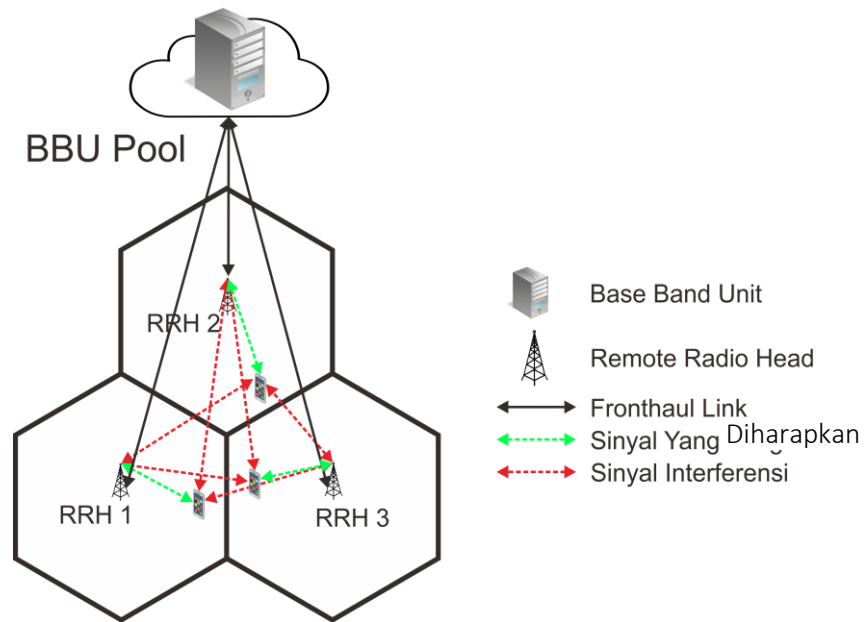
3.3.2 Pemodelan Sistem

Tahapan pertama dalam pemodelan sistem adalah dengan membuat asumsi yang akan diterapkan dalam simulasi. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa jaringan bersifat homogen dengan arah *downlink*, terdapat 3 buah RRH dengan *factor frequency reuse = 1*, lalu pengguna tersebar dengan posisi acak di dalam sistem dengan 3 RRH. Penggunaan teknologi C-RAN dengan cara memisahkan unit pemrosesan dengan antena, unit pemrosesan atau disebut dengan cara memisahkan unit pemrosesan dengan antena, unit pemrosesan atau disebut dengan BBU dialokasikan pada pusat kontrol data *cloud* yang tersentralisasi sehingga perangkat pemancar sinyal yang berada di area aplikasi sistem hanya menjadi *Radio Frequency (RF) Antenna* disebut *Remote Radio Head (RRH)*. Sistem yang ditawarkan ini memungkinkan untuk mengontrol semua layanan secara tersentralisasi dan memudahkan setiap BBU dari RRH untuk saling berkoordinasi tentang CQI dari pengguna seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skenario *Scheduling* pada CRAN

Radius RRH yang digunakan yaitu 500 m dengan model kanal *free space path-loss*. *Bandwidth* yang digunakan pada skripsi ini adalah 10 MHz yang dapat dialokasikan ke *user*. Karena satu *Resource Block* hanya dapat digunakan untuk satu *user*, maka diperlukan alokasi secara dinamis agar RB yang tersedia cukup untuk seluruh pengguna yang ada dalam sistem yang dibangun dengan 100 *user*. Pada skenario ini dilakukan pemetaan satu-ke-banyak dalam lingkup pendekatan “*cell less*”. Dengan cara ini, ia mengelola beberapa RRH secara bersamaan dan bertujuan untuk berkoordinasi dengan penjadwal intra-sel untuk mengurangi interferensi yang diakibatkan oleh pentransmisiian sinyal dari RRH yang berada di *cell* berbeda. Oleh karena itu, simulasi akan dijalankan dengan iterasi yang telah ditentukan sehingga posisi pengguna di dalam sistem akan selalu berubah dan dapat memperlihatkan algoritma penjadwalan yang berbeda di setiap iterasi dengan memperhatikan nilai SINR, demi mendapatkan kualitas sinyal yang baik. Skenario umum dapat dilihat pada Gambar 3.2.



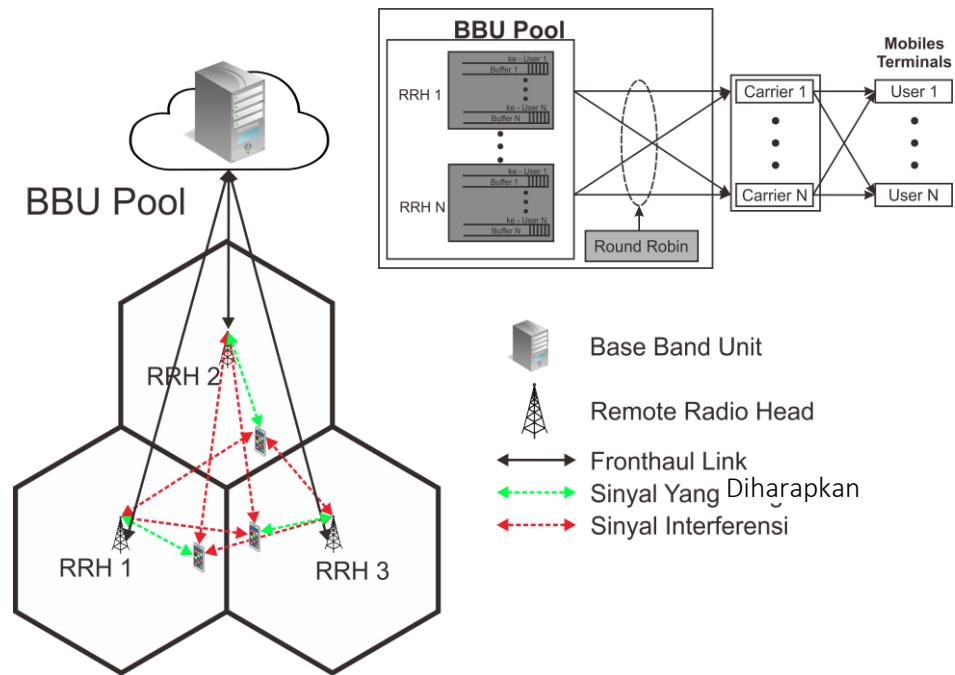
Gambar 3.2 Skenario umum scheduling pada *Cell Less* C-RAN

Terdapat dua jenis metode penjadwalan atau *scheduling* untuk jaringan seluler, yaitu *static scheduling* dan *dynamic scheduling*. Skenario pertama dalam pemodelan sistem adalah skenario dasar yang akan dijadikan acuan (*baseline*). Terdapat empat skenario simulasi yang telah dimodelkan dan dapat digunakan pada simulasi.

3.3.2.1 Skenario 1 (baseline), metode *static scheduling*

Skenario ini akan dijadikan sebagai acuan (*baseline*) dari simulasi yang akan dilakukan. Simulasi dilakukan pada arah *downlink*. Terdapat 3 buah RRH dengan ukuran yang telah ditetapkan. Pengguna tersebar secara acak dalam sistem sehingga akan ada pengguna yang berada di tengah dan di pinggir wilayah cakupan RRH. Pengguna di pinggir wilayah cakupan RRH cenderung sangat terganggu karena lebih dekat dengan RRH tetangga atau disebut dengan *inter cell interference* (ICI) daripada pengguna yang berada di tengah wilayah cakupan RRH (di mana

interferensinya kurang signifikan). Pembatalan interferensi dengan menggunakan *static scheduling*. Simulasi dijalankan selama 10 detik waktu, kemudian menganalisa hasil dari simulasi berupa SINR dari pengguna, *throughput*, *spectral efficiency*, dan *fairness*.

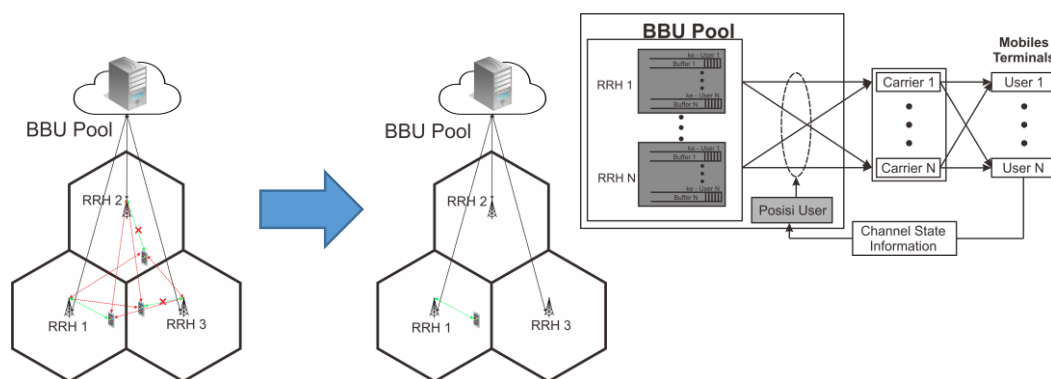


Gambar 3.3 Skenario 1, *static scheduling*

3.3.2.2 Skenario 2, metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user*

Skenario ini berbeda dengan skenario pertama, yaitu sebuah sistem dengan 3 buah RRH dan sebaran pengguna sebanyak 100 pengguna di dalam sistem secara acak. Sebaran pengguna akan terletak di tengah dan di pinggir wilayah cakupan RRH. Pengguna di pinggir wilayah cakupan RRH cenderung sangat terganggu karena lebih dekat dengan RRH tetangga atau disebut dengan *inter cell interference* (ICI) daripada pengguna yang berada di tengah wilayah cakupan RRH (di mana interferensinya kurang signifikan). Simulasi dilakukan pada arah *downlink*. Daya yang diterima setiap pengguna akan diukur dari RRH yang melayaninya dan RRH

yang bersebelahan dengannya. Daya terima tersebut akan dibandingkan dari setiap RRH yang memancarkan sinyalnya ke arah pengguna kemudian *scheduler* dengan memperhitungkan interferensi yang terjadi pada pengguna. Pembatalan interferensi dengan menggunakan *dynamic scheduling*. Penjadwalan yang dipilih adalah MaxSNR karena kemampuannya untuk meningkatkan kapasitas sistem dan karena merupakan salah satu penjadwal yang paling dikenal. Penjadwalan ini akan memprioritaskan *user* dengan posisi terbaik. Selain itu, *user* berada pada jarak yang sama dari RRH masing-masing untuk mengabaikan perilaku tidak adil dari penjadwal ini. Perilaku algoritma penjadwalan akan selalu berubah ketika posisi pengguna berubah.



Gambar 3.4 Metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user*

Pada penjadwalan ini *user m* didefinisikan sebagai *mobile* yang dipilih oleh scheduler pada *sub-carrier n* di RRH *i*. Pada algoritma MaxSNR, *m* dihitung menggunakan persamaan (3.1).

$$m = \operatorname{argmax}(\eta_{k,n}^i) \quad (3.1)$$

di mana:

$\eta_{k,n}^i$: spektral efisiensi user *k* di RRH *i* pada *sub-carrier n*

m : *user* yang dipilih oleh scheduler

Penjadwalan ini menghindari ICI ketika magnitude mereka tinggi dengan cara melarang penggunaan *sub-carrier n* pada *time slot* (TS) tertentu. Pengambilan keputusan diambil berdasarkan informasi kanal pada *user m* pada tiap RRH. $\eta_{m,interf}^i$ didefinisikan sebagai $\eta_{m,n}^i$ sewaktu *user m* di RRH *i* terinterferensi pada *sub-carrier n*. dengan cara ini, penjadwalan melakukan alokasi sumber daya mengikuti ketidaksetaraan sebagai berikut:

$$\sum_{(i=1, i \in C)}^L \eta_{m,n,interf}^i \geq \max\{\eta_{m,n}^i, \forall i \in C\} \quad (3.2)$$

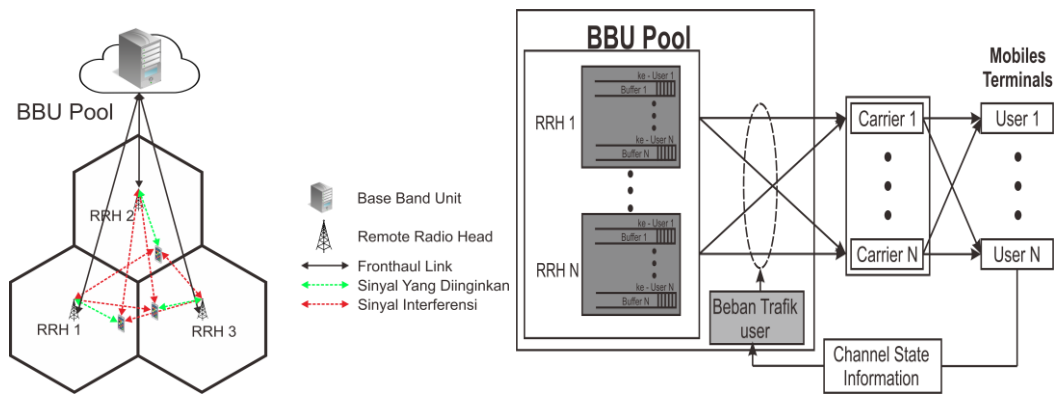
Dengan cara ini, tergantung oleh keadaan kanal masing-masing, penjadwalan dapat melaksanakan beberapa *frequency reuse*. Ketika tidak ada interferensi atau magnitude interferensi terlalu besar penjadwalan menggunakan strategi *sliced bandwidth*. Tetapi, ketika interferensi tidak signifikan penjadwalan melakukan strategi *reuse 1*.

3.3.2.3 Skenario 3, metode dynamic scheduling berdasarkan beban trafik

user

Dalam skenario ini dilakukan *scheduling* untuk mengurangi inter cellular interference dengan metode *dynamic scheduling* berdasarkan beban trafik. Simulasi dilakukan pada arah *downlink*. Terdapat 3 buah RRH dengan ukuran yang telah ditetapkan. Pengguna disebar secara acak dalam sistem sehingga akan ada pengguna yang berada di tengah dan di pinggir wilayah cakupan RRH. Pengguna di pinggir wilayah cakupan RRH cenderung sangat terganggu karena lebih dekat dengan RRH tetangga atau disebut dengan *inter cell interference* (ICI) daripada pengguna yang berada di tengah wilayah cakupan RRH (di mana interferensinya kurang signifikan). Penjadwalan ini adalah algoritma penjadwalan berbasis

kompromi. Hal ini didasarkan pada menjaga keseimbangan antara dua kepentingan yang bersaing mencoba untuk memaksimalkan total throughput jaringan (berkabel atau tidak) sementara pada saat yang sama memungkinkan semua pengguna setidaknyanya tingkat layanan minimal. Hal ini dilakukan dengan menetapkan setiap aliran data kecepatan data atau prioritas penjadwalan (bergantung pada implementasi) yang berbanding terbalik dengan konsumsi sumber daya yang diantisipasi.



Gambar 3.5 Metode *dynamic scheduling* berdasarkan beban trafik

Untuk mencapai keadilan antar-pengguna yang diinginkan parameter baru digunakan. Parameter ini dilambangkan dengan PF_m , yang memperhitungkan dampak *path-loss* yang dialami pada laju bit rata-rata yang dapat dicapai dari user k :

$$PF_m = \frac{b_{ref}}{b_k} \quad (3.3)$$

b_{ref} adalah jumlah referensi bit yang dapat ditransmisikan pada *sub-carrier* dengan mempertimbangkan path loss a_{ref} untuk jarak referensi b_{ref} ke titik akses dan *multipath fading* sama dengan satu (*multipath fading* diabaikan):

$$b_{ref} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{max} \times a_{ref}}{N_0} \right) \quad (3.4)$$

b_k merepresentasikan jumlah yang sama tetapi mempertimbangkan jarak d_k ke titik akses.

$$b_k = \log_2 \left(1 + \frac{P_{max} \times a_{ref} \times \left(\frac{d_{ref}}{d_k} \right)^\beta}{N_0} \right) \quad (3.5)$$

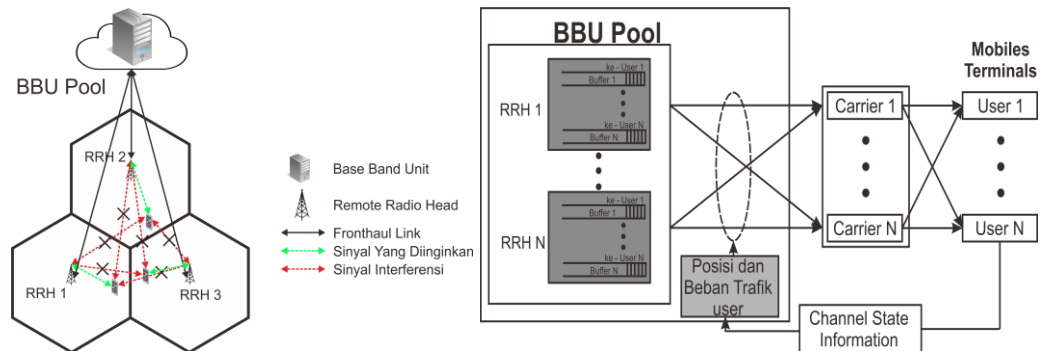
Dengan β sebagai *path loss exponent* yang dialami.

3.3.2.4 Skenario 4, metode *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik user

Skenario ini merupakan kombinasi dari skenario kedua dan ketiga, yaitu *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik user. Sistem dengan 3 buah RRH dan sebaran 100 pengguna dalam sistem secara acak. Sebaran pengguna akan terletak di tengah dan di pinggir wilayah cakupan RRH dan simulasi dilakukan dari arah downlink. Daya yang diterima setiap pengguna akan diukur pada RRH yang melayaninya dan RRH yang bersebelahan dengannya. Daya yang diterima tersebut akan dibandingkan dari setiap RRH yang memancarkan sinyalnya ke arah pengguna akan menentukan prioritas pada algoritma penjadwalan dengan memperhitungkan interferensi yang terjadi pada pengguna. Jika interferensi yang besar terhadap suatu pengguna, sistem akan mengizinkan atau mencegah penjadwalan untuk mengalokasikan sumber daya. Prioritas algoritma penjadwalan akan selalu berubah ketika posisi pengguna berubah.

Penjadwalan berdasarkan posisi tersebut akan menimbulkan ketidakadilan terhadap pengguna yang memiliki interferensi buruk, oleh karena itu ditambahkan pengalokasian sumber daya berbasis beban trafik atau *traffic load*. Ini bersama-sama memastikan keadilan dan maksimalisasi throughput sistem. Jika pengguna

berada di posisi yang sama, prioritas akan diberikan kepada pengguna yang memiliki hunian penyangga tertinggi semakin memperkuat keadilan.



Gambar 3.6 Metode *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi beban trafik dan posisi *user*

Untuk memberikan keadilan antar *user* sekaligus memaksimalkan *throughput* sistem, penelitian ini mengusulkan untuk menggabungkan parameter pada skenario 2 dan 3. Penjadwalan ini mengalokasikan time slot pada *sub-carrier n* kepada *user m* dengan faktor $F_{k,n}$ terbesar:

$$F_{m,n} = \eta_{m,n} \times PF_m \quad (3.6)$$

Penjadwalan melakukan alokasi sumber daya mengikuti ketidaksetaraan sebagai berikut:

$$\sum_{(i=1, i \in C)}^L F_{m,n}^i \geq \max\{F_{m,n}^i, \forall i \in C\} \quad (3.7)$$

Dengan cara ini, tergantung oleh keadaan kanal masing-masing, penjadwalan dapat melaksanakan beberapa *frequency reuse*. Ketika magnitude nilai $F_{m,n}^i$ dan $F_{m,n}^i \text{interf}$ terlalu besar penjadwalan menggunakan strategi sliced bandwidth. Tetapi, ketika magnitudenya tidak signifikan penjadwalan melakukan strategi reuse 1.

3.4 Parameter Simulasi

Parameter simulasi jaringan untuk metode *dynamic scheduling* berdasarkan beban *traffic* dan posisi *user* ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter yang digunakan dalam simulasi.

NO.	Parameter	Nilai
1	Jumlah RRH	3
2	Radius RRH [3]	500 meter
3	Jumlah pengguna	100
4	Bandwidth	10 MHz
5	Frekuensi Kerja	1,9 GHz
6	Path loss eksponen	2 (<i>free space</i>)
7	Factor frequency reuse [3]	1
8	Jumlah <i>sub-carrier</i> [3]	32
9	Jumlah <i>frame</i>	100
10	Jumlah <i>time slots per frame</i>	10
11	Sub-carrier spacing [3]	15 kHz
12	Jarak Referensi [4]	1 Km
13	Thermal noise power density (N_0) [3]	-174 dBm/Hz
14	Daya pancar: RRH [3]	20 W (43 dBm)
15	Model Trafik	Poisson
16	Teknik Akses	OFDMA

3.5 Perhitungan SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*)

Berdasarkan skenario simulasi yang digunakan, persamaan SINR dapat dihitung melalui interferensi yang terjadi pada *User Equipment*. Persamaan SINR dapat dilihat pada persamaan (3.8).

$$SINR = \frac{P_s PL_s}{\sum P_i PL_i + n} \quad (3.8)$$

Di mana:

P_s = Daya pancar RRH yang dipancarkan,

PL_s = *Path loss* pada *user* yang diamati,

P_i = Daya pancar RRH yang menyebabkan interferensi,

$PL_i = Path\ loss$ dari RRH yang menginterferensi

$n =$ Daya noise yang mungkin berupa konstanta acak.

3.6 Path Loss

Model *Path loss* telah dijabarkan pada persamaan (2.2) dan akan ditulis kembali pada persamaan (3.9):

Formula *pathloss* dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$P_L = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 27,55 \quad (3.9)$$

di mana:

$P_L = path\ loss;$

$d =$ jarak antara user ke RRH ;

$f =$ frekuensi kerja.

3.7 Noise Power

Perhitungan *noise* telah dibahas dalam persamaan (2.3 dan 2.4) dan akan ditulis kembali dengan memasukkan nilai *bandwidth* 10 MHz. Berikut adalah perhitungan *noise* melalui persamaan (3.10 dan 3.11)

$$N_o = kT \text{ (Watt/Hz)} \quad (3.10)$$

Daya *noise* (N) pada temperatur (T) dan *bandwidth* (Bw) dinyatakan melalui Persamaan (3.11) berikut.

$$N_o = k.T.Bw = N_{o(dB)}. Bw \quad \text{(dBW/Hz)} \quad (3.11)$$

di mana:

$N_o =$ daya *noise thermal*;

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

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

Sehingga nilai *noise* dalam desibel:

$$N_0 = 10 \log_{10} (1,3803 \times 10^{23} \times 290) = -204 \text{ dBW/Hz} = -174 \text{ dBm/Hz}$$

3.8 Parameter Kinerja

Parameter kinerja pada sub bab ini membahas tentang hasil perhitungan untuk mengetahui dan membandingkan kinerja sesuai dengan skenario simulasi yang dibuat. Parameter kinerja pada skripsi ini akan menghitung nilai SINR, *throughput*, *spectral efficiency*, dan *fairness*.

3.8.1 Throughput

Persamaan *throughput* telah dijelaskan sebelumnya pada persamaan (2.6), dan akan ditulis kembali dalam persamaan (3.12) yaitu sebagai berikut.

$$C = Bw \cdot \log_2(1 + SINR) \quad (3.12)$$

Di mana:

C = kapasitas maksimum *channel* dalam bit / detik;

Bw = *bandwidth* dalam Hertz;

$SINR$ = *Signal to noise plus interference ratio*(*SINR*).

3.8.2 Spectral Efficiency

Persamaan *spectral efficiency* telah dijelaskan sebelumnya pada persamaan (2.5), dan akan dijabarkan kembali dalam persamaan (3.13). Persamaan (3.13) merupakan persamaan *spectral efficiency*.

$$\eta = \log_2(1 + SINR) \quad (3.13)$$

di mana:

$\eta = \text{spectral efficiency}$

$SINR = \text{Signal to noise plus interference ratio.}$

3.8.3 Fairness

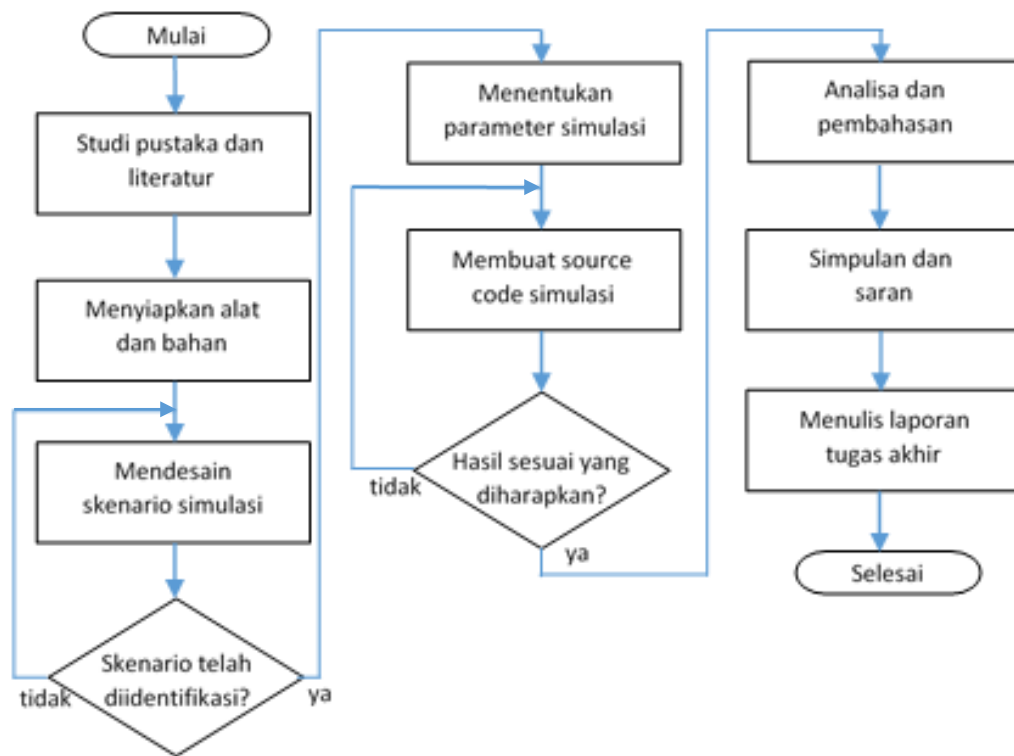
Persamaan *fairness* telah dijelaskan sebelumnya pada persamaan (2.9), dan akan ditulis kembali dalam persamaan (3.14) yaitu sebagai berikut.

$$f(T_1, T_2, \dots, T_N) = \frac{[\sum_{i=0}^N T_i]^2}{\sum_{i=0}^N (T_i)^2} \quad (3.14)$$

di mana N merupakan Jumlah total *user*, dan T_i waktu rata rata *throughput* dari user ke- i .

3.9 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

Adapun diagram alir pengerjaan skripsi ditunjukkan pada Gambar 3.6 di bawah ini.

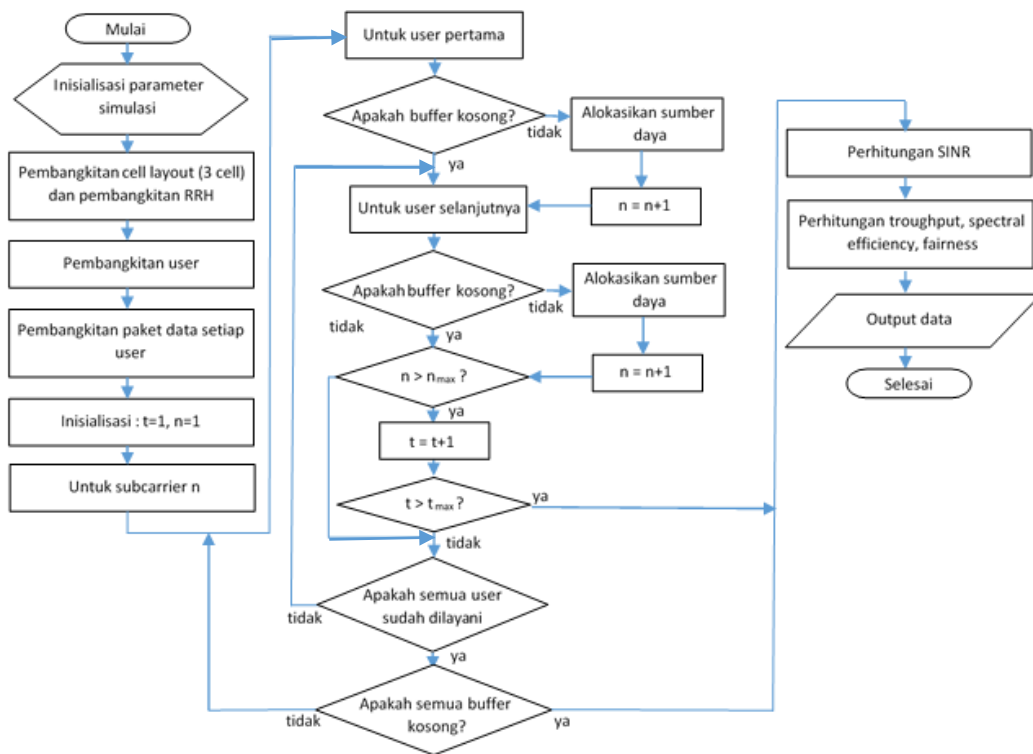


Gambar 3.6 Diagram alir pengerjaan skripsi

3.10 Diagram Alir Simulasi Sistem

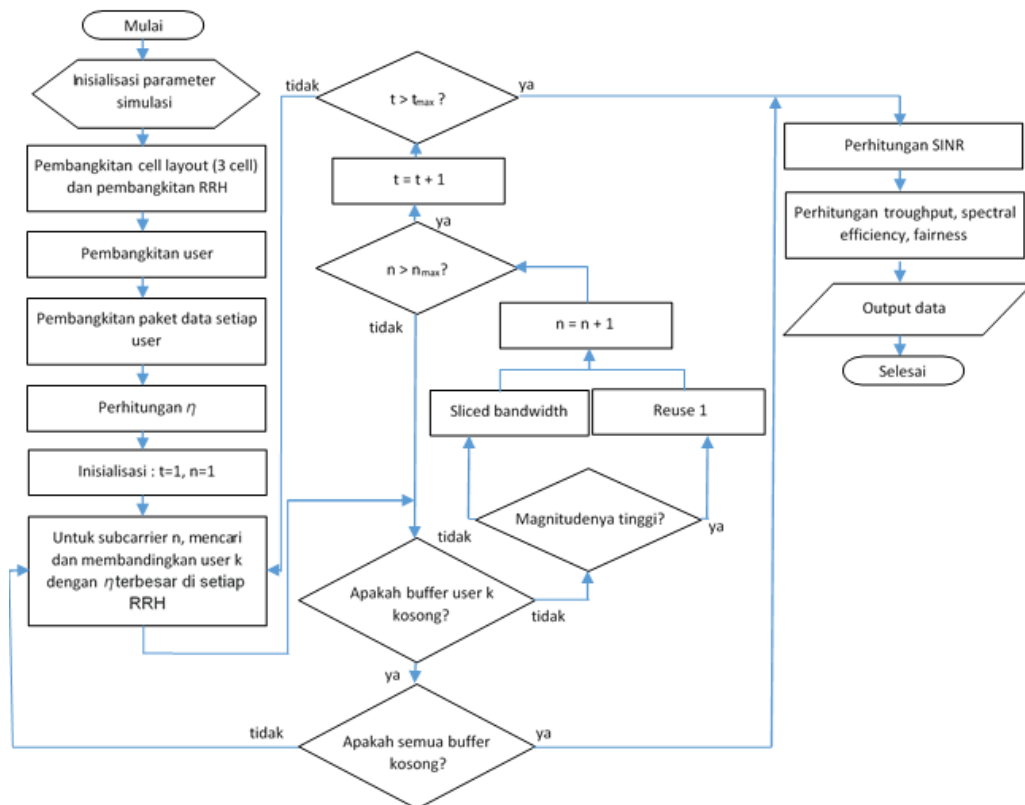
Diagram simulasi sistem pada skripsi ini ditunjukkan pada Gambar 3.7 hingga Gambar 3.10 sebagai berikut.

a. Diagram alir simulasi sistem skenario 1.



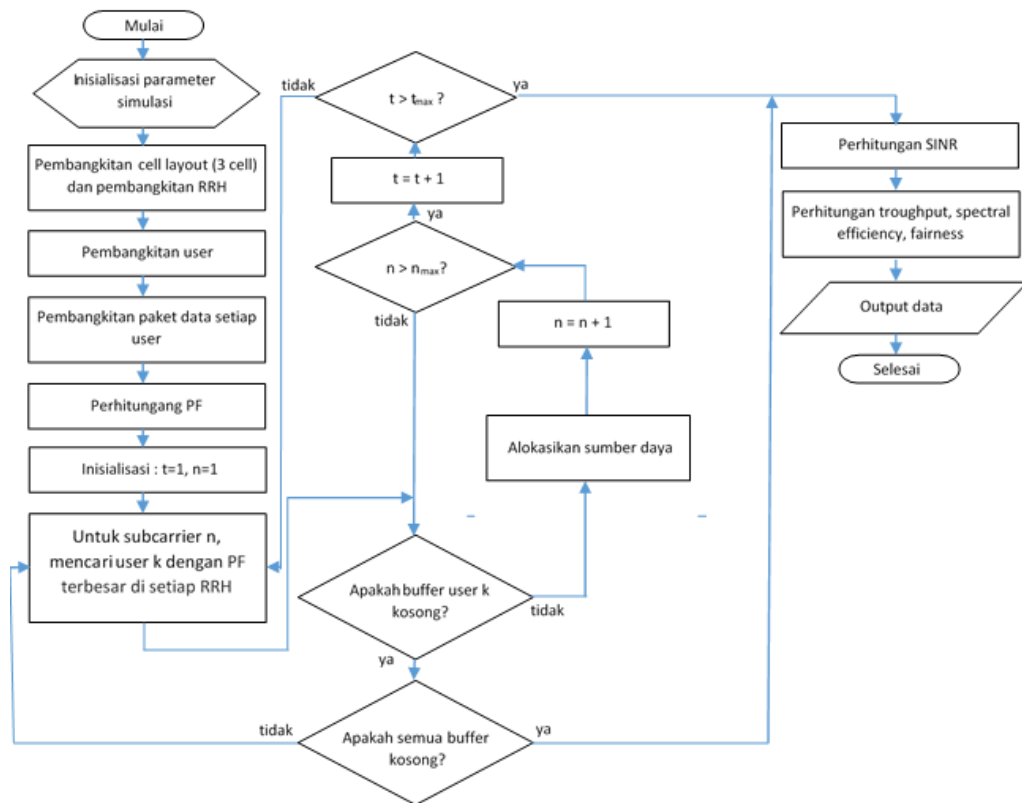
Gambar 3.7 Diagram alir sistem simulasi skenario 1

b. Diagram alir simulasi sistem skenario 2.



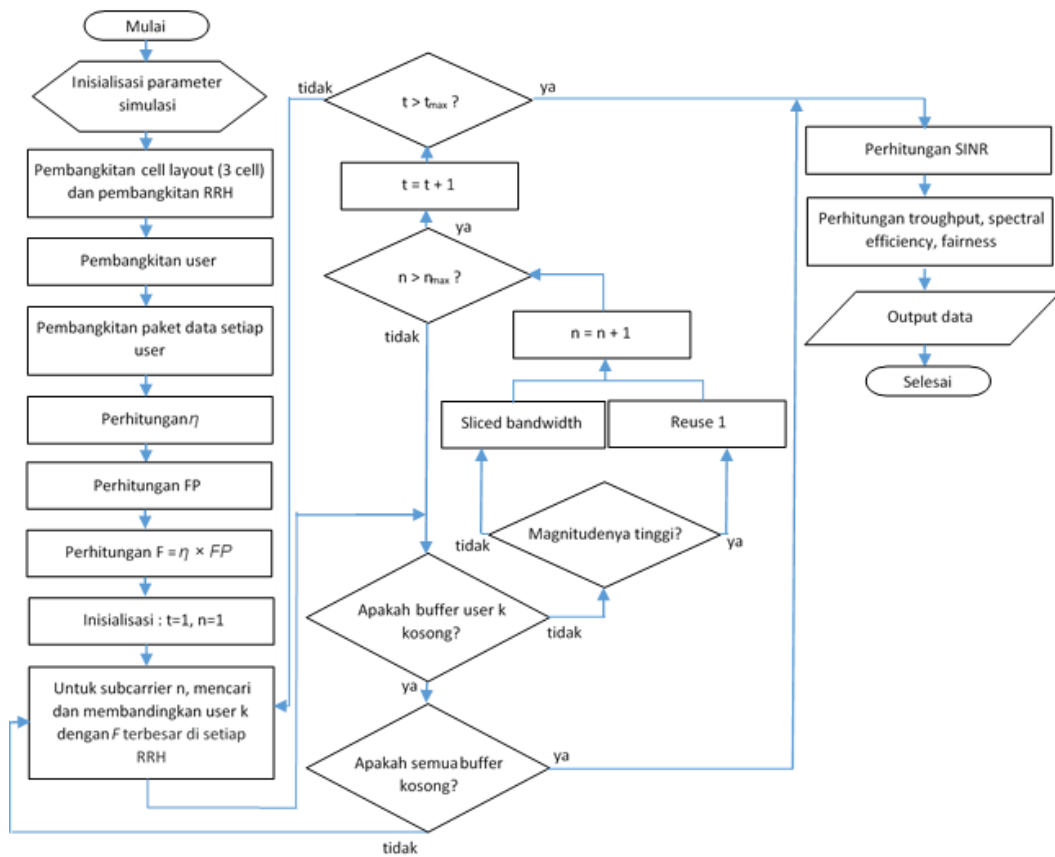
Gambar 3.8 Diagram alir sistem simulasi skenario 2

c. Diagram alir simulasi sistem skenario 3.



Gambar 3.9 Diagram alir sistem simulasi skenario 3.

d. Diagram alir simulasi sistem skenario 4.



Gambar 3.10 Diagram alir sistem simulasi skenario 4.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini dijabarkan simpulan berdasarkan hasil simulasi yang telah didapatkan dan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yang mungkin dapat dilakukan.

5.1 Kesimpulan

Simpulan dari skripsi ini adalah:

1. Berdasarkan perbandingan SINR menggunakan metode *static scheduling* menggunakan algoritma penjadwalan *round-robin* dan *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* terhadap CDF, metode *static scheduling* memiliki nilai rata-rata SINR 7,225 dB sedangkan pada metode *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* memiliki nilai minimum sebesar 32,502 dB. Hal ini disebabkan karena *user* yang berada di pinggir wilayah cakupan RRH dengan interferensi yang besar telah dibatalkan dengan skenario *dynamic scheduling*.
2. Berdasarkan perbandingan *throughput* menggunakan metode *static scheduling* menggunakan algoritma penjadwalan *round-robin* dan *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* terhadap CDF, metode *dynamic scheduling* lebih baik daripada metode *static scheduling*. Sebab nilai *throughput* yang mampu dihasilkan oleh metode

dynamic scheduling mencapai 9,81 Mbps hingga 268,88 Mbps, sedangkan pada metode *static scheduling* nilai *throughput* mencapai 6,26 Mbps hingga 76,44 Mbps.

3. Berdasarkan perbandingan *spectral efficiency* menggunakan metode *static scheduling* menggunakan algoritma penjadwalan *round-robin* dan *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* terhadap CDF, metode *dynamic scheduling* lebih baik daripada metode *static scheduling*. Sebab nilai *spectral efficiency* yang mampu dihasilkan oleh metode *dynamic scheduling* mencapai 1,11 bps/Hz hingga 26,88 bps/Hz, sedangkan pada metode *static scheduling* nilai *spectral efficiency* mencapai 0,62 bps/Hz hingga 7,64 bps/Hz.
4. Berdasarkan perbandingan *fairness* menggunakan metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user* dan *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* terhadap Raj Jain *fairness index*. Metode *dynamic scheduling* berdasarkan posisi *user* memiliki nilai *fairness index* terkecil yaitu 0,68 sedangkan pada metode *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* memiliki nilai *fairness index* 0,83. Hal ini disebabkan karena *user* yang berada di pinggir wilayah cakupan RRH tidak dijadwalkan oleh algoritma penjadwalan atau tidak mendapatkan alokasi sumber daya sehingga keadilan antar *user* buruk.
5. Berdasarkan keseluruhan skenario simulasi, skenario *dynamic scheduling* berdasarkan kombinasi posisi dan beban trafik *user* memiliki nilai SINR, *throughput*, *spectral efficiency* yang paling baik, karena kecilnya interferensi dari *inter-cell interference* yang sudah diminimalkan pada

metode ini dan *fairness* yang tinggi karena pada metode ini mempertimbangkan beban trafik pada masing-masing *user*. Tetapi metode *dynamic scheduling* kombinasi ini memiliki sistem yang sangat kompleks.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, penulis mengajukan saran sebagai berikut:

1. Pada penelitian berikutnya, pembatalan interferensi pada algoritma penjadwalan dapat mempertimbangkan konfigurasi *massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)* pada *Cell-Less C-RAN*.
2. Pada penelitian berikutnya, selidiki dan bandingkan semua skenario untuk model kanal yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Jiao, X. Wen, Z. Lu, Y. Chen, H. Shao and W. Jing, "Dynamic user-centric clustering algorithm based on energy efficiency in Cloud-RAN," in *24th International Conference on Telecommunications (ICT)*, Limassol, Cyprus, 2017.
- [2] A. Hajisami and D. Pompili, "Cloud-CFFR: Coordinated Fractional Frequency Reuse in Cloud Radio Access Network (C-RAN)," in *IEEE 12th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems*, Dallas, TX, USA, 2015.
- [3] C. Christopher and C. Gueguen, "Dynamic Cell-Less Radio Access Network Meta-Scheduler for High System Capacity Increase," *IEEE 21st International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)*, 2020.
- [4] C. Gueguen and S. Baey, "A Fair MaxSNR Scheduling Scheme for Multiuser OFDM Wireless Systems," *IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 2935 - 2939, 2009.
- [5] X. Wang, K. Wang, S. Wu, S. Di, K. Yang and H. Jin, "Dynamic Resource Scheduling in Cloud Radio Access Network with Mobile Cloud Computing," *2016 IEEE/ACM 24th International Symposium on Quality of Service (IWQoS)*, pp. 1-6, 2016.
- [6] J. Yao and N. Ansari, "QoS-Aware Joint BBU-RRH Mapping and User Association in Cloud-RANs," *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, pp. 881-889, Dec. 2018.
- [7] M. Ezzaouia, C. Gueguen, M. E. Helou, M. Ammar, X. Lagrange and A. Bouallegue, "A dynamic transmission strategy based on network slicing for cloud radio access networks," *2018 Wireless Days (WD)*, pp. 40-45, 2018.
- [8] B. Nsiri and M. Nasreddine, "Modeling and Performance Evaluation of Scheduling Algorithms For Downlink," *The Tenth International Conference on Wireless and Mobile Communications*, 2014.
- [9] R. Tafazolli, M. Filo and S. Vahid, "Small Cells for 5G Mobile Networks," in *Fundamentals of 5G Mobile Networks*, Wiley Telecom, 2015., pp. 63-104.
- [10] J. Zyren, *Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer*, Colorado: Freescale Semiconductor Inc., 2007.

- [11] B. Reddy, "Orthogonal frequency division multiple access downlink physical layer communication for IEEE 802.16-2009 standard," *IET Signal Processing*, vol. 10, no. 3, pp. 274 - 279, 2016.
- [12] R. Lopes, "UFRJ," Federal University of Rio de Janeiro, [Online]. Available: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scdma.html. [Accessed 13 11 2021].
- [13] W. Kester, W.-B. Yang and M. Souryal, "RF - SNR vs SINAD," [Online]. Available: https://www.sharetechnote.com/html/RF_Handbook_SNR.html. [Accessed 13 11 2021].
- [14] V. K. Garg, "Noise and SNR," *Wireless Communications and Networking, San Fransisco: Morgan Kaufmann Publishe*, pp. 119-120, 2007.
- [15] I. M. John and M. Wozencraft, "channel capacity," in *Principles of Communication Engineering*, United State of America, ohn Wiley & Sons, Inc, 1965, pp. 320-322.
- [16] M. Dianati, X. Shen and S. Naik, "A new fairness index for radio resource allocation in wireless networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2005.
- [17] Cable Free, "LTE Metrics including RSPP, RSRQ, and SINR," Cable Free, [Online]. Available: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-rsrq-sinr/>. [Accessed 14 November 2022].
- [18] 3rd Generation Partnership Project, "Enhance Performance Requirement For LTE UE Study Item," Technical Specification Group Radio Access Network, 2012.
- [19] P. Chowdhury and I. S. Misra, "A Fair and Efficient Packet Scheduling Scheme for IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems," *International Journal of Ad hoc Sensor & Ubiquitous Computing*, 2010.