

MONITORING PENGARUH PENERAPAN TEKNIK PENJADWALAN MAXIMUM C/I DAN ENHANCED PROPORTIONAL FAIR TERHADAP USER DAN CELL PERFORMANCE PADA JARINGAN LTE

MONITORING THE IMPLEMENTATION EFFECTS OF MAXIMUM C/I AND ENHANCED PROPORTIONAL FAIR SCHEDULING TECHNIQUES TO USER AND CELL PERFORMANCE IN LTE NETWORK

Dana Adhitama¹, Yuyun Siti Rohmah, S.T., M.T.², Avip Hanafi, A.Md³

¹² Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

dana.pmfw@gmail.com¹, yuyunsr@tass.telkomuniversity.ac.id², avip.hanafi@outlook.com³

Abstrak

Akses internet berkecepatan tinggi merupakan suatu hal yang diharapkan oleh para pengguna jasa layanan telekomunikasi. Namun hal tersebut belum tercapai secara optimal karena terbatasnya sumber daya frekuensi yang ada serta banyaknya operator telekomunikasi yang juga bergelut di bisnis yang sama sehingga mengakibatkan sumber daya tersebut menjadi terbagi-bagi.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan menggunakan teknik penjadwalan agar dapat meningkatkan performansi dalam memenuhi kebutuhan *user* secara merata dan adil walaupun dengan sumber daya yang terbatas. Pada proyek akhir ini telah dilakukan uji coba teknik penjadwalan *maximum C/I (Max C/I)* pada eNodeB Martadinata dan *enhanced proportional fair (EPF)* pada eNodeB Halmahera milik operator seluler XL Axiata di kota Bandung menggunakan *software* Huawei iManager U2000.

Berdasarkan simulasi dari sisi *cell performance* dan *user performance* pada Max C/I, yaitu dengan jumlah *general user number* 110-145 *user*, *total DLSCHE users* 1500-2700 kanal, *total users with data in the downlink queue delay* 40-65 ms, jumlah *UE number in session max* 1700-3400 kali kanal DLSCHE terpakai, *cell downlink RLC throughput* 2,8-9,3 Mbps, *downlink used RB number* 0-90, SINR 23-28 dB, CQI 12-15, dan *user downlink RLC throughput* 0,7-4,8 Mbps. Untuk hasil data simulasi dari sisi *cell performance* dan *user performance* pada EPF, yaitu jumlah *general user number* 130-165 *user*, *total DLSCHE users* 2300-2900 kanal, *total users with data in the downlink queue delay* 50-85 ms, jumlah *UE number in session max* 2200-3700 kali kanal DLSCHE terpakai, *cell downlink RLC throughput* 2,7-6,5 Mbps, *downlink used RB number* 0-90, SINR 25-26 dB, CQI 13-14, dan *user downlink RLC throughput* 0-6,5 Mbps.

Kata kunci : eNodeB, QoS, *maximum C/I*, *enhanced proportional fair*.

Abstract

High speed internet access is one that telecommunication service users expect. However, this has not been achieved optimally because of the limited frequency resources and the number of telecom operators that are also competing in the same business, resulting in the resources being fragmented.

One solution to overcome the problem is by using scheduling techniques in order to improve performance in meeting user needs equally and fairly, although with limited resources. In this final project has been tested the technique of scheduling maximum C / I (Max C / I) on eNodeB Martadinata and enhanced proportional fair (EPF) on eNodeB Halmahera owned by XL Axiata cellular operator in Bandung city using Huawei iManager U2000 software.

Based on the simulation of cell performance and user performance on Max C/I, that is with the number of general user number 110-145 users, total DLSCHE users 1500-2700 channels, total users with data in the downlink queue delay 40-65 ms, number of UE number in session max 1700-3400 times DLSCHE channel used, cell downlink RLC throughput 2,8-9,3 Mbps, downlink used RB number 0-90, SINR 23-28 dB, CQI 12-15, and downlink user RLC throughput 0.7- 4.8 Mbps. For simulation result data from cell performance and user performance in EPF, that is general user number 130-165 users, total DLSCHE users 2300-2900 channels, total users with data in the downlink queue delay 50-85 ms, number of UE number in session max 22200-3700 times DLSCHE channel used, cell downlink RLC throughput 2,7-6,5 Mbps, downlink used RB number 0-90, SINR 25-26 dB, CQI 13-14, and user downlink RLC throughput 0-6, 5 Mbps.

Keywords : eNodeB, QoS, *maximum C/I*, *enhanced proportional fair*.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telekomunikasi yang semakin maju diiringi dengan semakin bertambahnya pengguna membuat para operator telekomunikasi bersaing merebut hati konsumen agar terus menggunakan layanan yang mereka tawarkan. Teknologi LTE yang terus berkembang sekarang ini dirasa cukup mampu memenuhi kebutuhan pengguna yang beragam dengan beberapa keunggulan yang ditawarkan seperti mampu memberikan jangkauan (*coverage*) dan kapasitas (*capacity*) layanan yang lebih besar, arsitektur yang lebih sederhana, mendukung penggunaan antena *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*, fleksibel dalam penggunaan *bandwidth*, dapat diintegrasikan dengan teknologi yang sudah ada, sehingga membuat teknologi ini bersifat *low cost*.

Akan tetapi pemanfaatan teknologi tersebut belum maksimal disebabkan karena keterbatasan sumber daya yang ada dan banyaknya operator yang menggelar teknologi yang sama sehingga sumber daya tersebut harus terbagi-bagi. Akibatnya, penggunaan *bandwidth* menjadi tidak maksimal dan berdampak pada kecepatan akses data tidak sesuai dengan yang diharapkan. Maka diperlukan beberapa faktor pendukung agar teknologi ini dapat beroperasi secara optimal walaupun dengan keterbatasan sumber daya yang ada. Faktor pendukung tersebut antara lain seperti penggunaan antena MIMO, teknik *multiple access*, modulasi yang sesuai, serta algoritma penjadwalan yang efisien. Pada proyek akhir ini akan dilakukan simulasi algoritma penjadwalan sebagai salah satu cara untuk meningkatkan performansi dalam memenuhi kebutuhan *user*.

Ada beberapa algoritma penjadwalan yang mendukung teknologi LTE antara lain seperti *round robin (RR)*, *maximum C/I (Max C/I)*, *proportional fair (PF)*, dan *enhanced proportional fair (EPF)*. Berdasarkan hasil simulasi dari penelitian sebelumnya [1], dari keempat jenis teknik penjadwalan tersebut, RR memiliki keunggulan pada *delay* antrian yang lebih kecil dan lebih *fair* dari yang lain. Max C/I memiliki keunggulan pada nilai *throughput* yang lebih tinggi. PF meskipun memiliki nilai *throughput* yang lebih rendah dibandingkan Max C/I, namun dengan *delay* antrian serta *fairness* yang mendekati RR. Sedangkan EPF memiliki nilai parameter yang hampir seimbang dari segi *throughput*, *delay* antrian, dan *fairness*.

Penulis mencoba mensimulasikan secara riil di lapangan untuk mengetes performansi dari dua teknik penjadwalan yang sering digunakan oleh operator XL Axiata, yaitu EPF dan Max C/I. Adapun tolok ukur pengukuran meliputi pengukuran dari sisi *cell performance* dan *user performance* ketika teknik tersebut diterapkan.

2. Dasar Teori

2.1. Penjadwalan (*scheduling*)

LTE mengadopsi transmisi *shared-channel* di mana *resource* frekuensi-waktu dibagi secara dinamis kepada UE. E-UTRAN eNodeB melakukan penjadwalan untuk mengalokasikan *resource* frekuensi-waktu untuk transmisi UL dan DL [1].

2.1.1. Teknik Penjadwalan

Dalam sistem LTE ada beragam teknik *scheduling* yang dapat digunakan. Adapun teknik yang digunakan untuk simulasi ialah sebagai berikut:

- *Maximum C/I (Max C/I)*

Algoritma Max C / I hanya memperhitungkan kualitas kanal ketika mengalokasikan *air interface resource* dan menjadwalkan layanan dengan kualitas kanal terbaik pada saat itu. Algoritma ini memaksimalkan *throughput* sistem. Namun, itu tidak dapat memastikan bahwa UE di sel yang sama dijadwalkan sama karena semua UE dalam sel tidak dapat mengalami kondisi kanal yang sama. Jika UE terus-menerus mengalami kondisi kanal yang buruk, itu tidak dapat dijadwalkan. Akibatnya, pengalaman pengguna menjadi buruk. Max C / I tidak memastikan bahwa QoS layanan dapat dipertahankan.

- *Enhanced Proportional Fair (EPF)*

Algoritma EPF merupakan peningkatan pada algoritma PF. Dibandingkan dengan PF, EPF memprioritaskan pengalaman pengguna dan memastikan bahwa persyaratan QoS terpenuhi [1].

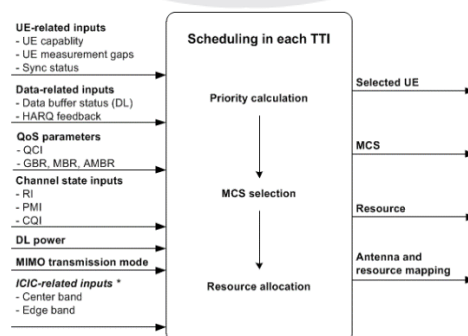
2.1.2. Scheduler

Scheduler berada di atas lapisan fisik. Fungsi dasarnya adalah mengalokasikan sumber daya frekuensi waktu ke UE di setiap *subframe* untuk transmisi UL dan DL, sehingga UE dapat mengirim dan menerima data.

Scheduler dirancang untuk *trade off* antara kinerja *single-UE* dan kapasitas jaringan secara keseluruhan dan juga menyediakan solusi manajemen *end-to-end* QoS untuk QoS yang lebih baik [1].

2.1.3. Prinsip Penjadwalan

Dalam sistem LTE, *scheduler* ditempatkan pada lapisan MAC. *Scheduler* mengalokasikan sumber daya pada PSCH untuk UE dan memilih MCS yang sesuai untuk transmisi informasi sistem dan data pengguna [1].



Gambar 2.1 DL scheduler

a. UE-related Inputs

- *UE capability*

Bagian 4.1 dalam 3GPP TS 36.306 V10.1.0 (2011-03) menetapkan delapan kategori UE dan jumlah maksimum bit dan layer yang dapat ditransmisikan di setiap TTI untuk setiap kategori UE.

- *UE measurement gaps*

Jarak pengukuran UE mengacu pada waktu di mana UE dapat melakukan pengukuran inter-frekuensi atau inter-RAT pada frekuensi lain.

- *Sync status*

Masukan ini menunjukkan apakah UE dalam keadaan sinkron atau tidak sinkron.

b. Data-related Inputs

- *Data buffer status (DL)*

Masukan ini menunjukkan volume data dalam *buffer Radio Link Control (RLC)* untuk dijadwalkan.

- *SR (UL)*

Scheduling request (SR) adalah pesan 1-bit yang dikirim oleh UE ke eNodeB untuk meminta *resource UL* untuk transmisi data.

- *BSR (UL)*

Buffer status report (BSR) dikirim oleh UE ke eNodeB untuk menunjukkan jumlah data dalam *buffer UL* dari UE.

- *HARQ feedback*

Feedback HARQ mencakup ACK dan NACK, menunjukkan apakah data ditransmisikan atau dikirim ulang dengan benar. eNodeB memberikan *HARQ retransmission* prioritas penjadwalan tertinggi kedua. Pensinyalan dan layanan dengan *resource* yang dialokasikan secara semi-permanen memiliki prioritas penjadwalan tertinggi.

c. QoS Parameters

Persyaratan QoS untuk RB ditransmisikan dari EPC ke eNodeB melalui *S1 Application Part (S1AP)*.

Parameter QoS utama adalah sebagai berikut:

- QCI
- GBR
- *Maximum bit rate (MBR)* dari layanan GBR
- *Aggregate maximum bit rate (AMBR)* dari layanan non-GBR

Atribut QCI standar adalah sebagai berikut:

- Jenis sumber daya (GBR atau non-GBR)
- *Priority*
- *Packet delay budget (PDB)*
- *Packet error loss rate*

d. Channel State Inputs

DL *scheduler* menjadwalkan UE dan mengalokasikan *resource* ke UE berdasarkan *channel state information (CSI)*, yang mencakup *rank indication (RI)*, *precoding matrix indication (PMI)*, dan CQI. RI, PMI, dan CQI diperkirakan oleh UE berdasarkan kualitas saluran DL instan. Berikut ini menggambarkan CSI:

- RI

Dalam mode transmisi spasial multipleks, UE melaporkan RI ke eNodeB, memberikan informasi tentang peringkat saluran yang direkomendasikan ke DL *scheduler* untuk transmisi DL.

- PMI

Dalam mode transmisi spasial multipleks tertutup, UE melaporkan PMI ke eNodeB, merekomendasikan matriks *precoding* ke DL *scheduler*.

- CQI

UE juga melaporkan CQI ke eNodeB, memberikan informasi tentang kualitas kanal DL yang dapat digunakan oleh DL *scheduler* untuk *link adaptation*.

eNodeB mendukung pelaporan CSI aperiodik dan menentukan apakah akan menggunakan pelaporan CSI periodik atau aperiodik.

UL *scheduler* menjadwalkan UE dan mengalokasikan *resource* ke UE berdasarkan SINR. SINR digunakan untuk memperkirakan kondisi kanal UL dan eNodeB memperoleh SINR dengan mengukur *sounding reference signal (SRS)* dan *demodulation reference signal (DMRS)*.

e. DL Power

Daya transmisi DL (Tx) dibagi oleh semua UE dalam sel. Menurut 3GPP Release 8, daya DL Tx ditentukan oleh sel spesifik *reference signal (RS) energy per resource element (EPRE)*, PA, dan PB. eNodeB mengirim UE *information element (IE) PDSCH-ConfigCommon* yang berisi sel-spesifik RS EPRE dan PB, dan IE *PDSCH-ConfigDedicated* yang berisi PA. Untuk detail tentang PA dan PB, lihat 3GPP TS 36.213-V10.4.0 (2011-12).

f. MIMO Transmission Mode (DL)

Mode transmisi MIMO adalah *input* ke DL *scheduler*. Bab 7 di 3GPP TS 36.213 mendefinisikan sembilan mode transmisi MIMO

g. ICIC-related Inputs

ICIC membagi *bandwidth* transmisi menjadi *center band* dan *edge band*. Divisi ini menentukan *band* DL atau UL untuk penjadwalan dan alokasi data.

2.2. Channel Quality Indicator (CQI)

CQI adalah indikator yang membawa informasi tentang seberapa baik / buruknya kualitas saluran komunikasi.

CQI adalah informasi yang dikirim UE ke jaringan, dan secara praktis hal tersebut menyiratkan dua hal sebagai berikut:

i) Kualitas Saluran Komunikasi saat itu

ii) UE ingin mendapatkan data dengan *Transport Block Size* (TBS), yang pada gilirannya dapat langsung dikonversi menjadi *throughput* [2].

Di LTE, ada 15 skala nilai CQI yang berbeda dari 1 sampai 15 dan pemetaan antara CQI dan skema modulasi, dan TBS didefinisikan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Skala Indeks CQI

CQI Index	Modulation	Code rate	MCS	TBS	Efficiency
1	QPSK	78	0	536	0.1523
2	QPSK	120	0	536	0.2344
3	QPSK	193	2	872	0.3770
4	QPSK	308	5	1736	0.6016
5	QPSK	449	7	2417	0.8770
6	QPSK	602	9	3112	1.1758
7	16QAM	378	12	4008	1.4766
8	16QAM	490	14	5160	1.9141
9	16QAM	616	16	6200	2.4063
10	64QAM	466	20	7992	2.7305
11	64QAM	567	23	9912	3.3223
12	64QAM	666	25	11448	3.9023
13	64QAM	772	27	12576	4.5234
14	64QAM	873	28	14688	5.1152
15	64QAM	948	28	14688	5.5547

Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai CQI :

$$CQI = \min \left\{ \max \left\{ 0, \left\lceil \frac{SINR \text{ (dB)}}{1,02} + 16,62 \right\rceil \right\}, 22 \right\} \dots (2.1)$$

Berdasarkan persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai SINR (*signal to noise ratio*) maka akan semakin besar nilai CQI-nya. Dan dalam kondisi *good RF*, SINR lebih besar dari 20 dB, dalam kondisi medium RF, SINR diantara 10 dB dan 15 dB, dan kondisi *poor RF*, SINR lebih kecil dari 5 dB. [3]

Setelah CQI tersebut diolah, eNodeB yang melayani *multiple-user* tersebut akan memetakan ke dalam kombinasi skema modulasi, dan jumlah DL-SCH yang digunakan, dimana juga menentukan banyaknya *transport block size* (TBS) yang dikirim untuk masing-masing *user*. Kombinasi tersebut yang akan menjadi patokan bagi eNodeB dalam pengiriman data [4].

2.3. QoS Class Identifier (QCI)

QCI merupakan mekanisme yang ditetapkan oleh 3GPP untuk memastikan *traffic bearer* teralokasikan dengan baik sesuai QoS. Setiap *bearer traffic* yang berbeda membutuhkan QoS yang berbeda pula, dan oleh karena itu membutuhkan nilai QCI yang berbeda juga. QCI bernilai 1 sampai 9 dengan masing-masing prioritas, prioritas yang lebih tinggi diutamakan dalam alokasi *bearer traffic*. Prioritas 0.5 adalah level yang paling tinggi. Jika *congestion* terjadi maka prioritas yang lebih rendah trafiknya akan dihilangkan terlebih dahulu. QCI-65, QCI-66, QCI-69 dan QCI-70 diperkenalkan dalam 3GPP TS 23.203 Rel-12 [3].

Tabel 2.2 Skala prioritas QCI

QCI	Resource Type	Priority	Packet Delay Budget	Packet Error Loss	Example Services
1	GBR	2	100ms	10^{-2}	Conversational Voice
2	GBR	4	150ms	10^{-3}	Conversational Video
3	GBR	3	50ms	10^{-3}	Real Time Gaming
4	GBR	5	300ms	10^{-6}	Non-Conversational Video (Buffered Streaming)
65	GBR	0.7	75ms	10^{-2}	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g., MCPTT)
66	GBR	2	100ms	10^{-2}	Non-Mission-Critical user plane Push To Talk voice
5	non-GBR	1	100ms	10^{-6}	IMS Signalling
6	non-GBR	6	300ms	10^{-6}	Video (Buffered Streaming) TCP-Based (for example, www, email, chat, ftp, p2p and the like)
7	non-GBR	7	100ms	10^{-3}	Voice, Video (Live Streaming), Interactive Gaming
8	non-GBR	8	300ms	10^{-6}	Video (Buffered Streaming) TCP-Based (for example, www, email, chat, ftp, p2p and the like)
9	non-GBR	9	300ms	10^{-6}	Video (Buffered Streaming) TCP-Based (for example, www, email, chat, ftp, p2p and the like)
69	non-GBR	0.5	60ms	10^{-6}	Mission Critical delay sensitive signalling (e.g., MC-PTT signalling)
70	non-GBR	5.5	200ms	10^{-6}	Mission Critical Data (e.g. example services are the same as QCI 6/8/9)

2.4. Pengalokasian Sumber Daya

2.4.1. Pengalokasian Sumber Daya untuk Layanan GBR

Jika ada layanan GBR, pengalokasian sumber daya untuk jenis layanan ini lebih diprioritaskan. Namun apabila ketersediaan sumber daya untuk layanan GBR telah habis, kemudian melayani layanan non-GBR secara bergantian. Ketika mengalokasikan sumber daya untuk layanan GBR, kita harus mempertimbangkan kualitas kanal pengguna, *packet delay*, dan prioritas *logical channel*. Berikut formula untuk alokasi sumber daya layanan GBR:

$$F_u^i = W_i * \frac{(R_i * E_u)}{H_u^i} * \frac{D_u^i}{T_i} \dots (2.2)$$

Dimana W_i adalah *weight factor* dari *logical channel* i , R_i adalah layanan GBR i . E_u adalah efisiensi spektrum pengguna u . H_u^i adalah riwayat *throughput* layanan i , dan D_u^i adalah *delay* antriannya, T_i adalah *delay* maksimum bahwa layanan i dapat ditoleransi.

E_u merepresentasikan efisiensi spektrum pengguna u dan itu adalah penggambaran dari kualitas kanal atau CQI pengguna. H_u^i merupakan riwayat *throughput* pengguna u layanan i yang dapat membawa *fairness* yang lebih baik ke sistem. Kita bisa memperoleh nilai H_u^i dengan rumus berikut:

$$H_u^i = (1 - \beta) * H_u^i + \beta * T_u^i \dots (2.3)$$

Dimana T_u^i adalah volume data yang diterima dengan sukses oleh pengguna u layanan i di TTI terakhir, β adalah faktor untuk menghitung riwayat *throughput*, umumnya bernilai 0,001.

Beberapa layanan mungkin tersedia di waktu yang sama untuk 1 pengguna, yaitu ada beberapa DL DTCH. Prioritas antar mereka ditentukan oleh *MAC logical channel prioritization (MLP)*. Maka dari itu, W_i digunakan untuk memprioritaskan DTCH. Dan besar nilai W_i dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$W_i = n^{m-i} \dots (2.4)$$

Dimana n adalah bilangan integer positif lebih besar dari 1. Untuk mengurangi *delay* dan menurunkan *packet loss rate*, diperkenalkan suatu *delay* yang terkait faktor D_u^i yang mewakili waktu tunggu paket. Semakin besar nilainya, semakin besar prioritasnya. Faktor ini mampu meningkatkan prioritas penjadwalan pengguna yang memiliki waktu tunggu lebih lama [5].

2.4.2. Pengalokasian Sumber Daya untuk Layanan Non-GBR

Pengalokasian sumber daya untuk layanan non-GBR dilakukan setelah semua layanan GBR telah dilayani atau sumber daya untuk layanan GBR telah habis. Mengingat permintaan mereka akan QoS yang lebih rendah, dan untuk mengurangi kompleksitas. Penambahan W_i kedalam perhitungan memungkinkan layanan dengan QCI tinggi mendapat prioritas yang lebih tinggi. Adapun untuk rumus perhitungan prioritasnya sebagai berikut:

$$F_u^i = W_i * \frac{E_u}{H_u^i} \dots (2.5)$$

Dimana W_i adalah *weight factor* dari *logical channel* i , E_u adalah efisiensi spektrum pengguna u . H_u^i adalah riwayat *throughput* layanan i . Faktor tersebut dapat diperoleh dengan cara yang sama seperti pada layanan GBR.

Yang perlu diperhatikan disini adalah untuk menghindari *starvation* saat melayani *logical channel* sesuai dengan prioritas mereka. Dalam LTE, sebuah *prioritized bit rate (PBR)* dikonfigurasi oleh eNodeB untuk tiap *logical channel*. Artinya, ketika mengalokasikan sumber daya ke pengguna, RB dibutuhkan oleh PBR yang akan memprioritaskan ke tempat pertama. Hanya ketika semua *logical channel* telah disajikan pada PBR mereka, kemudian jika masih ada ruang tersisa di MAC PDU tiap *logical channel* disajikan lagi untuk menurunkan prioritas urutan. Dalam proses distribusi sekunder, hanya *logical channel* yang masih memiliki data yang bisa disajikan untuk mengurangi prioritas urutan [5].

3. Perancangan Penjadwalan

Simulasi dilakukan pada jam yang sama pada hari yang sama, yaitu pada 25 April 2018 pukul 15.00-16.00 WIB. Pengambilan data hasil monitoring selama kurang lebih 1 jam dengan teknik penjadwalan yang berbeda. Pengambilan data diukur dari dua sisi, yaitu *cell performance monitoring* dan *user performance monitoring*. Untuk data yang diambil dari sisi *cell performance* meliputi: *user statistic monitoring*, *scheduled users statistic monitoring*, *general throughput monitoring*, dan *usage of RB monitoring*. Sedangkan dari sisi *user performance*, yaitu *quality of channel monitoring* dan *throughput monitoring*. Untuk pengukuran dari sisi *user performance* menggunakan 2 buah *handset* Samsung Galaxy S4, 1 buah *handset* berada di XL Center sedangkan yang satunya lagi berada di PT. Huawei Services untuk masing-masing simulasi penjadwalan yang mana terhubung dengan Genex Probe 3.15. Pengambilan data hasil simulasi diperoleh dari *software* yang sama, yaitu Huawei iManager U2000. Kemudian dari data tersebut dilakukan analisis dan dibandingkan antara teknik penjadwalan Max C/I dengan teknik penjadwalan EPF pada eNodeB Halmahera.

Tabel 3.1 Spesifikasi umum eNodeB Halmahera

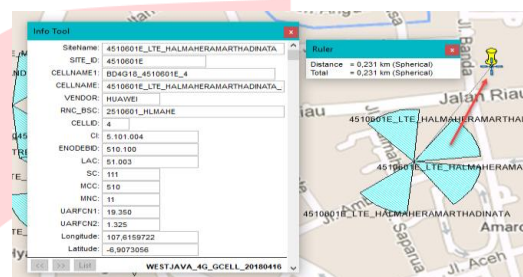
Nama Site	4510601E_LTE_HALMAHERAMARTADINATA
Radius Sel	Hingga 9,8 km
Skema Antena	MIMO 2x2
Jenis Antena	Sektoral
Jumlah Sektor	4
Modulasi	QPSK, 16QAM, 64QAM (Adaptive)
Band Frekuensi	B3 (1800 MHz)
Bandwidth	20 MHz
Rentang Band Frekuensi	UL (1.730-1.745 MHz) DL (1.825-1.840 MHz)
Transmisi Dupleks	FDD
Jenis Area	Urban
Skala Indikasi Sel	Makro
Lokasi eNodeB	Halmahera
Longitude	107.6159722
Latitude	-6.9073056
Tinggi Tower	25 m
Pathloss	Cost-231

Tabel 3.2 Spesifikasi umum eNodeB Martadinata

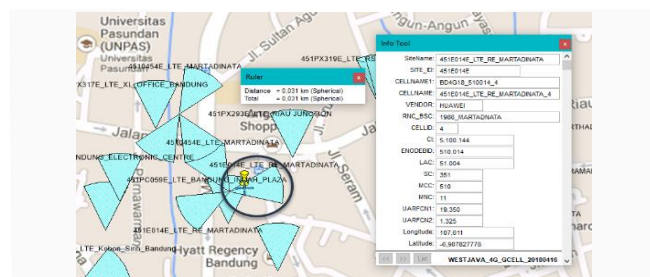
Nama Site	451E014E_LTE_RE_MARTADINATA
Radius Sel	Hingga 9,8 km
Skema Antena	MIMO 2x2
Jenis Antena	Sektoral
Jumlah Sektor	3
Modulasi	QPSK, 16QAM, 64QAM (Adaptive)
Band Frekuensi	B3 (1800 MHz)
Bandwidth	20 MHz
Rentang Band Frekuensi	UL (1.730-1.745 MHz) DL (1.825-1.840 MHz)
Transmisi Dupleks	FDD
Jenis Area	Urban
Skala Indikasi Sel	Makro
Lokasi eNodeB	Martadinata
Longitude	107.611
Latitude	-6.907827778
Tinggi Tower	30 m
Pathloss	Cost-231



Gambar 3.1 Jarak antara eNodeB Martadinata dengan Halmahera



Gambar 3.2 Posisi UE 2 terhadap eNodeB Halmahera

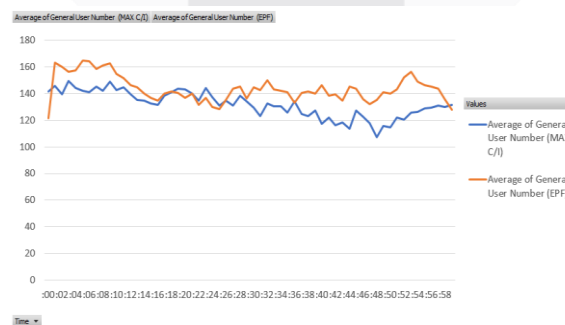


Gambar 3.3 Gambar 3.4 Posisi UE 1 terhadap eNodeB Martadinata

4. Analisis Hasil Simulasi

4.1. Cell Performance Monitoring

4.1.1. User Statistic Monitoring

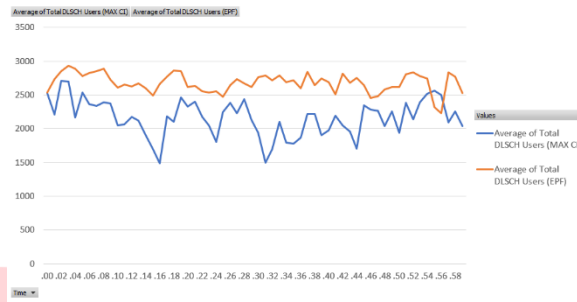


Gambar 4.1 Grafik rata-rata general user number

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam menghasilkan jumlah statistik pengguna bervariasi yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera maupun Martadinata selama proses penjadwalan berlangsung. Grafik *general user number* tersebut menunjukkan banyaknya *user* aktif yang mengakses *resource type* baik GBR maupun non-GBR dalam satu waktu. Artinya, jumlah UE aktif yang mengakses layanan misalnya seperti *chatting*, *browsing*, dll dalam satu waktu (dalam hitungan detik). Sedangkan UE dalam kondisi *idle* tidak dihitung. Maka pada grafik tersebut bukan merupakan jumlah rata-rata keseluruhan *user* aktif baik dalam kondisi *idle* maupun

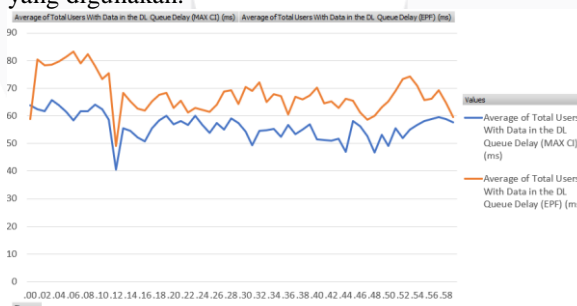
tidak yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera dan Martadinata. Pada gambar 4.1 di atas terlihat bahwa jumlah *user* aktif yang mengakses *resource type* GBR maupun non-GBR untuk teknik penjadwalan EPF lebih tinggi dibandingkan dengan Max C/I. Jumlah tertinggi yang diperoleh sel dari *site* Halmahera pada saat proses penjadwalan EPF berlangsung mencapai 165 *user*, sedangkan yang diperoleh sel dari *site* Martadinata dengan teknik penjadwalan Max C/I mencapai jumlah *user* tertinggi pada kisaran 150 *user*. Tinggi rendahnya jumlah *user* yang terjadi pada sel dari kedua eNodeB tersebut disebabkan oleh perubahan aktivitas *user* saat itu, serta dipengaruhi oleh lokasi eNodeB Halmahera dan Martadinata yang berada di area dalam kategori *urban* sehingga perbedaan antara jumlah *user* tersebut cukup seimbang.

4.1.2. Scheduled Users Statistic Monitoring



Gambar 4.2 Grafik rata-rata total DL-SCH users

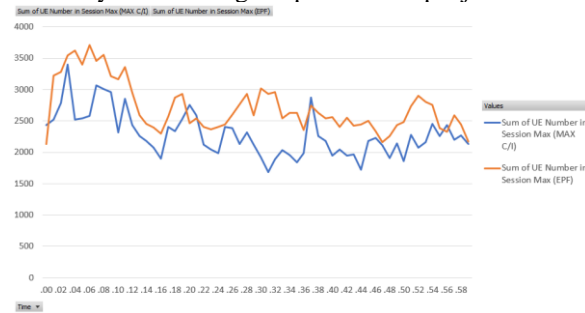
Dari hasil yang diperoleh dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam didapatkan jumlah kanal DL-SCH yang digunakan oleh *user* yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera maupun Martadinata selama proses penjadwalan terjadi. Pada gambar 4.2 menunjukkan jumlah rata-rata kanal DL-SCH yang terpakai oleh *user* selama selang waktu satu jam. DL-SCH sendiri merupakan kanal utama untuk transfer data arah DL yang membawa kanal logika seperti CCCH, DCCH, DTCH, MCCH, dan MTCH. DL-SCH dapat mengirimkan 1 atau 2 TB data aplikasi per *subframe* per sambungan. 2 *transport block (TB)* dapat ditularkan ketika UE berada di area cakupan yang baik dan dikonfigurasi dengan 2x2 MIMO atau 4x4 MIMO. *Codeword* DL-SCH dimodulasi menggunakan QPSK, 16 QAM, atau 64 QAM jika dalam kondisi cakupan yang baik untuk mendapatkan kecepatan data yang lebih tinggi. Dapat diamati dari grafik di atas bahwa kanal DL-SCH yang banyak digunakan oleh *user*, yaitu pada eNodeB Halmahera dengan teknik penjadwalan EPF dengan nilai tertinggi mencapai 2900 kanal, sedangkan jumlah tertinggi yang diperoleh eNodeB Martadinata dengan teknik penjadwalan Max C/I hanya mencapai nilai tertinggi sebesar 2700 kanal. Banyak sedikitnya kanal DL-SCH yang diperoleh pada masing-masing *site* dipengaruhi oleh jumlah kanal DL-SCH yang dibutuhkan oleh *user*. Misalnya perubahan dari aktivitas *user* seperti mobilitas *user* yang mengakibatkan penggunaan kanal DCCH yang diangkut oleh kanal DL-SCH untuk menangani proses *handover*, kontrol daya, dll. Kaitannya dengan besarnya *throughput* dipengaruhi juga oleh banyak sedikitnya jumlah kanal DL-SCH yang mengangkut kanal DTCH yang berfungsi mengatur *traffic* pengiriman data khusus untuk *user* tertentu sesuai dengan *resource type* yang diakses oleh *user*. Pengaruh lain disebabkan oleh kondisi kanal yang diperoleh *user* tersebut yang mempengaruhi jenis modulasi, MCS dan besar TBS yang digunakan.



Gambar 4.3 Grafik rata-rata total users with data in the DL queue delay

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera maupun Martadinata, terjadi *delay* antrian paket ketika proses penjadwalan berlangsung. Pada grafik tersebut memperlihatkan rata-rata total users with data in the DL queue delay atau bisa disebut juga dengan *delay* antrian paket di sisi sel selama proses penjadwalan dilakukan. Grafik tersebut menunjukkan akumulasi keseluruhan *delay* dari antrian paket yang dikirimkan ke masing-masing *user* dalam satuan milidetik. Terlihat bahwa teknik Max C/I memiliki rata-rata waktu *delay* yang lebih kecil daripada teknik EPF. *Delay* tertinggi pada proses penjadwalan EPF mencapai sekitar 85 ms, sedangkan pada Max C/I hanya mencapai sekitar 65 ms. Hal tersebut berpengaruh terhadap lamanya waktu pengiriman paket, semakin kecil *delay* maka akan semakin baik karena rentang waktu antrian antar paket yang terjadwalkan semakin pendek, sedangkan apabila *delay* besar maka rentang waktu paket yang dikirimkan antar *user* yang terjadwalkan semakin jauh, sehingga mengakibatkan pengiriman paket menjadi lebih lama. Dalam rentang waktu yang sama, perbedaan nilai *delay* antar kedua teknik tersebut dipengaruhi oleh banyaknya *user* yang terjadwalkan dalam antrian, serta jarak dan kondisi kanal dari UE terhadap sel eNodeB. Wajar saja jika *delay* pada teknik EPF lebih tinggi karena disebabkan jumlah *user* aktif yang mengakses *resource type* GBR maupun non-GBR

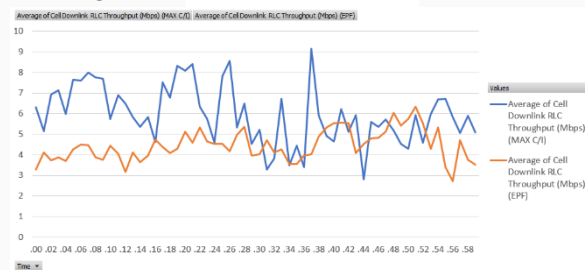
lebih banyak dari Max C/I seperti gambar 4.1 dan juga disebabkan oleh banyaknya penggunaan kanal DL-SCH pada teknik penjadwalan EPF yang lebih banyak dibandingkan pada teknik penjadwalan Max C/I seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.4 Grafik jumlah *UE number in session max*

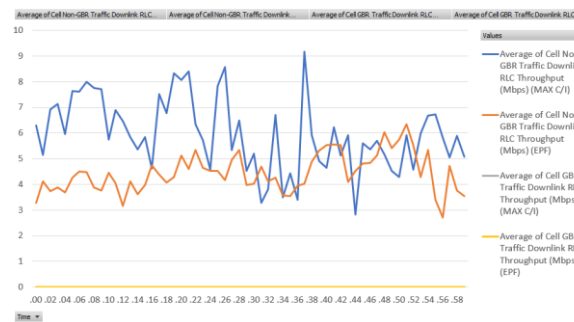
Kemudian untuk hasil yang diperoleh dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera maupun Martadinata juga didapatkan banyaknya jumlah *user* dalam sesi maksimum ketika proses penjadwalan dilakukan. Pada gambar 4.4 di atas, terlihat banyaknya jumlah *user* dalam sesi maksimum yang menunjukkan berapa kali *user* menggunakan kanal DL-SCH dalam rentang waktu satu jam. Berdasarkan grafik, jumlah yang diperoleh sel eNodeB Halmahera dengan teknik penjadwalan EPF lebih tinggi daripada Max C/I, yaitu dengan nilai tertinggi mencapai sekitar 3700, sedangkan untuk Max C/I berada di bawahnya yang berada di kisaran 3400. Perbedaan jumlah berapa kali kanal DL-SCH tersebut digunakan disebabkan oleh perubahan aktivitas *user* mengenai seberapa banyak menggunakan kanal DL-SCH untuk mengakses layanan dari *resource type* baik GBR maupun non-GBR. Misalnya seperti perbedaan antar *user* yang berada dalam keadaan *stationary* dengan *user* dalam keadaan *mobile*, tentunya *user* yang berada dalam kondisi *mobile* akan lebih banyak dan lebih sering menggunakan kanal DL-SCH yang berisi kanal DCCH untuk mengatur proses *handover* dibandingkan dengan *stationary user* yang tidak menggunakan kanal DCCH sama sekali ditambah lagi dengan perubahan aktivitas *user* saat mengakses layanan yang berpengaruh juga terhadap banyak sedikitnya penggunaan kanal DTCH yang diangkut oleh kanal DL-SCH. Jika dibandingkan dengan gambar 2.2, sekilas terlihat sama namun sebenarnya berbeda. Pada gambar 2.2 menunjukkan jumlah kanal DL-SCH yang digunakan oleh *user* sedangkan pada gambar 2.4 menunjukkan berapa kali *user* menggunakan kanal DL-SCH untuk mengakses layanan yang mereka inginkan.

4.1.3. General Throughput Monitoring



Gambar 4.5 Grafik rata-rata *cell downlink RLC throughput*

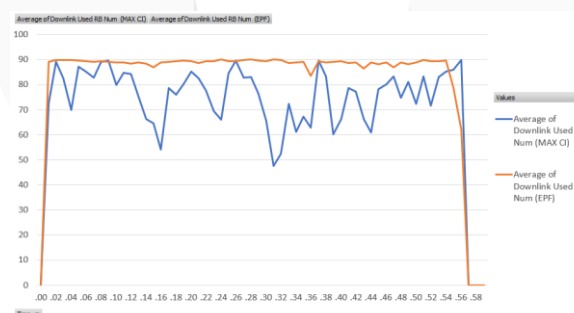
Dari hasil yang didapatkan dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam diperoleh *downlink RLC throughput* yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera maupun Martadinata selama proses penjadwalan terjadi. Dilihat dari gambar 4.5 bahwa besarnya *throughput* mengalami perubahan secara fluktuatif seiring dengan berjalannya waktu. Rata-rata *cell downlink RLC throughput* pada Max C/I lebih tinggi dengan mencapai nilai *throughput* kurang lebih sebesar 9 Mbps dibandingkan dengan EPF yang hanya mencapai nilai *throughput* tertinggi yang pada kisaran 6 Mbps. *Cell downlink RLC throughput* sendiri merupakan *throughput* arah DL pada lapisan RLC (*radio link control*) yang berada di layer 2 pada *protocol stack layer* di *air interface* antara eNodeB dengan UE untuk mentransfer PDU (*packet data unit*) lapisan atas. Sebelum paket ditransfer ke lapisan MAC dan sebelum hingga akhirnya sampai ke UE. Pada RLC, PDU ditambahkan *header* terlebih dahulu untuk pengalamatan paket yang mengakibatkan peningkatan *throughput*. Sehingga *cell downlink RLC throughput* pada grafik di atas merupakan rata-rata akumulasi dari penghitungan *throughput* riil yang didapatkan oleh masing-masing UE dari sel setelah *header* dilepaskan dari lapisan MAC. Besar kecilnya rata-rata *throughput* tersebut dipengaruhi oleh kondisi kanal yang diperoleh UE, banyaknya penggunaan RB, jenis modulasi yang digunakan oleh masing-masing UE, MCS, dan besar TBS yang digunakan.



Gambar 4.6 Grafik *cell GBR dan non-GBR traffic downlink RLC throughput*

Lalu untuk hasil yang diperoleh dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera maupun Martadinata menghasilkan pembagian *throughput* dari *downlink RLC throughput* berdasarkan *resource type* yang diakses oleh UE ketika proses penjadwalan berlangsung. Perbedaan besar *throughput* pada gambar 4.6 juga tidak jauh berbeda dengan *cell downlink RLC throughput* teknik Max C/I di atas, yaitu dengan nilai rata-rata lebih besar dibandingkan pada teknik EPF. Untuk nilai *throughput* tertinggi yang diperoleh pada teknik Max C/I sekitar 9 Mbps, sedangkan untuk teknik EPF hanya mencapai nilai *throughput* tertinggi sekitar 6 Mbps. Penyebabnya sama karena dipengaruhi oleh kualitas kanal yang didapat oleh UE, jenis modulasi, MCS, dan besar TBS yang digunakan. Namun, dari grafik tersebut menunjukkan besar nilai *throughput* pada *RLC throughput* untuk kategori QCI baik GBR dan non-GBR. QCI sendiri berfungsi untuk memastikan *traffic bearer* teralokasikan dengan baik sesuai dengan QoS. *Traffic bearer* yang berbeda membutuhkan QoS yang berbeda pula, sehingga membutuhkan nilai QCI yang berbeda juga. Berdasarkan grafik di atas, besar *throughput* teknik Max C/I maupun teknik EPF kategori QCI GBR memiliki nilai yang sama selama kedua teknik tersebut diterapkan, yaitu bernilai nol. Data tersebut bukan menunjukkan bahwa hanya terdapat *user* yang mengakses *resource type* non-GBR saja. Akan tetapi pada saat dilakukan konfigurasi dari kedua teknik penjadwalan pada eNodeB Halmahera dan Martadinata, pembagian persentase untuk *resource type* GBR diatur ke 0%. Apabila pengaturan alokasi *resource type* GBR tersebut diatur ke 70%, maka ketika penjadwalan berlangsung jika jumlah UE yang mengakses *resource type* GBR lebih banyak dari batas maksimal persentase pembagian *resource type* yang digunakan, sehingga secara otomatis akan mengakibatkan UE yang tidak mendapat akses layanan akan dibuang atau diabaikan selama kapasitasnya masih penuh. Namun jika dari kedua *resource type* tersebut saat konfigurasi diatur ke 0% atau tidak ada pembagian berapa persentase untuk masing-masing *resource type*, maka tidak akan ada UE yang tersisihkan karena tidak mendapat bagian untuk akses layanan *resource type* yang diperlukan. Sehingga sistem akan secara adaptif menyediakan *resource type* bagi *user* yang membutuhkan jenis layanan yang dimaksud selama kapasitas yang disediakan masih ada. Karena *resource type* GBR diatur ke 0%, maka baik *RLC throughput* GBR maupun non-GBR akan dialokasikan menjadi satu dalam skala 100% yang dihitung dalam satu parameter, yaitu *cell non-GBR traffic downlink RLC throughput*.

4.1.4. Usage of RB Monitoring



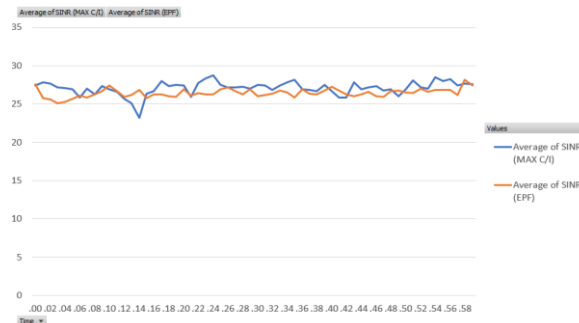
Gambar 4.7 Grafik rata-rata *downlink used RB number*

Berdasarkan hasil simulasi dari teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam dengan *bandwidth* masing-masing sebesar 20 MHz, diperoleh jumlah penggunaan RB rata-rata dari UE yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera dan Martadinata selama proses penjadwalan berlangsung. Dengan *bandwidth* sebesar 20 MHz memungkinkan pengalokasian RB maksimum sebesar 100 RB, namun dari 10% total *bandwidth* yang tersedia digunakan untuk *guard band* sebesar 2 MHz. Sehingga mengakibatkan pengalokasian RB maksimum kepada UE hanya mencapai 90 RB. Dari gambar 4.7 terlihat bahwa rata-rata penggunaan RB dari teknik penjadwalan EPF lebih tinggi dibandingkan dengan Max C/I. Jumlah RB tertinggi yang digunakan pada teknik penjadwalan EPF mencapai 90 RB dengan jumlah rata-rata RB yang cenderung stabil, sedangkan pengalokasian jumlah RB pada Max C/I berubah secara fluktuatif dengan jumlah RB tertinggi mencapai 90 RB dan jumlah terendah sebesar 50 RB. Dari teori yang ada [7], Besar kecilnya jumlah RB yang diperoleh UE akan mengakibatkan besar kecilnya *throughput* yang didapatkan. Namun, banyak sedikitnya RB yang diperoleh UE tidak menjamin secara mutlak bahwa UE dengan perolehan RB terbanyak akan menghasilkan *throughput* tertinggi pula. Karena, besar kecilnya *throughput* juga dipengaruhi oleh kondisi kanal dari UE yang berakibat pada jenis modulasi dan besar TBS yang digunakan. Hal tersebut terbukti dari hasil perolehan *throughput* pada gambar 4.5 dan gambar 4.6

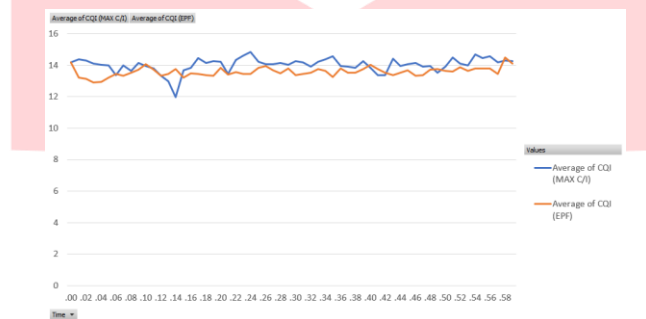
yang menunjukkan bahwa teknik Max C/I menghasilkan nilai rata-rata *throughput* yang lebih tinggi daripada EPF. Maka dengan membandingkan jumlah rata-rata penggunaan RB dengan *throughput* yang diperoleh, banyak sedikitnya RB tidak secara signifikan berpengaruh pada besarnya nilai *throughput*. Akan tetapi yang mempengaruhi secara dominan besar kecilnya *throughput* adalah kondisi kanal dari UE tersebut.

4.2. User Performance Monitoring

4.2.1. Quality of Channel Monitoring



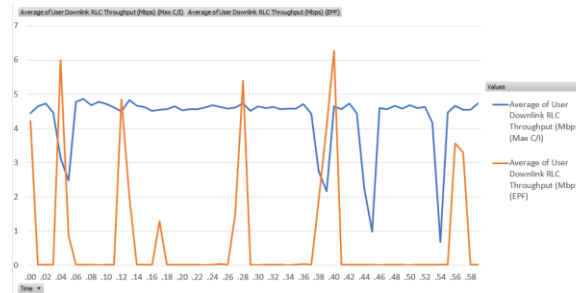
Gambar 4.8 Grafik rata-rata nilai SINR



Gambar 4.9 Grafik rata-rata nilai CQI

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam, didapatkan kualitas kanal UE 1 yang dijangkau sel dari *site* Martadinata dan kualitas kanal UE 2 yang dijangkau sel dari *site* Halmahera selama proses penjadwalan dilakukan. Grafik pada gambar 4.9 menunjukkan rata-rata perubahan nilai CQI yang didapatkan oleh UE saat penjadwalan berlangsung. Secara keseluruhan rata-rata nilai CQI yang diperoleh UE 1 yang menggunakan teknik penjadwalan Max C/I lebih tinggi daripada rata-rata nilai CQI pada teknik penjadwalan EPF. Nilai tertinggi yang diperoleh pada teknik Max C/I mencapai sekitaran 15, sedangkan untuk teknik EPF sedikit berada dibawah pada kisaran 14 dari skala 1 sampai 15. Faktor penyebab terjadinya hal tersebut yaitu karena posisi UE 1 yang cukup dekat dengan *site* Martadinata dibandingkan dengan posisi UE 2 terhadap *site* Halmahera yang terbilang sedikit lebih jauh. Selain itu juga dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai SINR yang didapat oleh UE seperti yang terlihat pada grafik rata-rata nilai SINR pada gambar 4.8. Besar kecilnya nilai SINR akan berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai CQI. Karena semakin besar nilai SINR maka akan semakin besar pula nilai CQI-nya sesuai dengan perhitungan pada persamaan 2.4. Apabila indeks CQI yang diperoleh UE semakin besar (dari rentang indeks skala 1 hingga 15) berarti menunjukkan kondisi kanal semakin baik. CQI sendiri digunakan untuk menghitung kualitas kanal DL saat digunakan untuk *dynamic scheduling*. CQI digunakan oleh *scheduler* jaringan untuk mendapatkan modulasi yang terbaik dan *coding scheme* (MCS) mencapai tingkat blok error (BLER) kurang dari 10%. Besar kecilnya nilai CQI sangatlah penting untuk menentukan prioritas penjadwalan pada teknik Max C/I, karena apabila UE mendapatkan nilai CQI yang terbilang tinggi dibandingkan UE yang lain, maka UE dengan CQI tertinggi lah yang lebih diprioritaskan dalam proses penjadwalan. Sedangkan untuk UE yang memiliki nilai CQI lebih rendah akan diantrikan pada antrian berikutnya. Dari segi *fairness*, teknik ini tidaklah *fair* karena hanya UE dengan nilai CQI tertinggi lah yang akan terus dilayani dengan mengabaikan *delay* antrian dan *service rate* antar UE pada saat proses penjadwalan dilakukan. Akan tetapi, dengan menggunakan teknik Max C/I dapat diukur kapasitas maksimum *throughput* sistem karena dengan nilai CQI yang tinggi menunjukkan kanal yang diperoleh UE berada dalam kondisi baik, sehingga dapat digunakan jenis modulasi yang baik pula misalnya 64 QAM atau 256 QAM (jika menggunakan antenna MIMO 4x4) dan akan berdampak pada besarnya nilai *throughput*. Berbeda dengan Max C/I, EPF tidak hanya memprioritaskan dari segi CQI namun berdasarkan rasio antara *service rate* dari *user* ketika mengakses layanan baik dari *resource type* GBR maupun non-GBR. Sehingga UE yang mendapatkan kanal yang buruk tetap bisa dimasukkan ke dalam antrian penjadwalan.

4.2.2. Throughput Monitoring



Gambar 4.10 Grafik rata-rata *user downlink RLC throughput*

Kemudian untuk hasil yang diperoleh dari simulasi teknik penjadwalan EPF pada *site* Halmahera dan simulasi teknik penjadwalan Max C/I pada *site* Martadinata selama kurang lebih satu jam yang dijangkau oleh sel dari *site* Halmahera maupun Martadinata juga didapatkan *user downlink RLC throughput* untuk UE 1 dan UE 2 ketika proses penjadwalan terjadi. Pada gambar 4.10 merupakan rata-rata *user downlink RLC throughput* yang diperoleh UE 1 dengan teknik penjadwalan Max C/I dan UE 2 dengan teknik penjadwalan EPF. Besar nilai *user downlink RLC throughput* tertinggi yang diperoleh UE 1 berkisar 5 Mbps sedangkan nilai *user downlink RLC throughput* tertinggi untuk UE 2 berada pada kisaran 6 Mbps. Namun nilai rata-rata *user downlink RLC throughput* UE 1 lebih tinggi dibandingkan dengan UE 2. Perubahan *throughput* tiap UE mengalami perubahan secara fluktuatif karena ketika proses penjadwalan terjadi, masing-masing UE digunakan untuk mengakses beragam layanan baik untuk *resource type* GBR maupun non-GBR, khususnya untuk layanan *browsing*, *chatting*, dan *video streaming*. Perbedaan antara *cell downlink RLC throughput* dengan *user downlink RLC throughput* yaitu untuk nilai *user downlink RLC throughput* tersebut merupakan *throughput* riil yang diperoleh UE 1 maupun UE 2 setelah *header* pada lapisan MAC dilepas, berbeda dengan *cell downlink RLC throughput* yang merupakan akumulasi rata-rata *user downlink RLC throughput* tiap UE yang dijangkau oleh sel. Dan untuk besar kecilnya rata-rata *throughput* tersebut dipengaruhi oleh kondisi kanal yang diperoleh UE, banyaknya RB yang diperoleh, jenis modulasi pada masing-masing UE, MCS, dan seberapa besar TBS yang digunakan.

5. Kesimpulan

Dari hasil uji coba yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari keseluruhan data hasil simulasi, faktor penting yang mengakibatkan tinggi rendahnya nilai parameter yang diperoleh secara dominan disebabkan oleh kondisi kanal yang diperoleh oleh *user*, posisi *user* terhadap *site*, dan jenis layanan yang diakses. Karena sebelum *user* dimasukkan dalam antrian akan dicek terlebih dahulu kondisi kanal yang diperoleh masing-masing UE ketika mengakses *resource type* baik GBR maupun non-GBR. UE dengan kualitas kanal tertinggi yang berada dalam jangkauan teknik penjadwalan Max C/I akan diprioritaskan terlebih dahulu untuk dimasukkan kedalam antrian. Sedangkan untuk UE dengan kebutuhan layanan yang lebih tinggi ketika mengakses *resource type* GBR atau non-GBR akan dimasukkan ke dalam prioritas pertama dalam antrian pada teknik penjadwalan EPF. Selanjutnya berdasarkan dari masing-masing UE dalam kedua teknik penjadwalan tersebut akan dialokasikan sejumlah RB sesuai dengan kebutuhan dari akses layanan GBR dan non-GBR. Dan untuk menentukan besarnya *throughput* UE yang dijangkau oleh masing-masing dari kedua teknik penjadwalan tersebut, yaitu berdasarkan kualitas kanal dari masing-masing UE. Apabila UE dengan tingkat kebutuhan akses layanan GBR maupun non-GBR yang tinggi didukung dengan kualitas kanal yang baik akan mengakibatkan UE mendapatkan *throughput* yang tinggi. Karena dengan kualitas kanal yang baik akan berpengaruh terhadap jenis modulasi, MCS, dan besar TBS yang digunakan untuk transfer data dari eNodeB ke UE.
2. Dari sisi *throughput*, teknik Max C/I memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi di atas teknik EPF karena dipengaruhi kualitas kanal yang menjadi prioritas berdasarkan pengukuran *user performance* maupun *cell performance*. Namun dari segi QoS dan *fairness* UE yang dimasukkan kedalam antrian, teknik penjadwalan EPF lebih baik dibandingkan dengan teknik penjadwalan Max C/. Karena pada teknik penjadwalan EPF tidak hanya memprioritaskan penjadwalan berdasarkan kualitas kanal yang diperoleh UE, akan tetapi berdasarkan kebutuhan akses layanan dari UE.

6. Saran

Berikut ini ada beberapa saran untuk pengembangan proyek akhir ini di masa mendatang, yaitu:

1. Penggunaan lebih dari satu *handset* yang diletakkan pada posisi yang berbeda ketika proses penjadwalan terjadi, sehingga hasil *user performance monitoring* yang diperoleh dari masing-masing UE dapat dibandingkan satu sama lain.
2. Pemilihan eNodeB yang menggunakan antenna MIMO 4x4, karena antenna tersebut mendukung modulasi 256 QAM, sehingga dapat diperoleh kapasitas *throughput* yang lebih tinggi.
3. Apabila untuk mengukur secara rinci dari segi *throughput*, *fairness*, dan *delay* antrian disarankan menggunakan simulasi pada *software* MatLab atau semacamnya karena dapat diatur kondisi kanal dan jumlah *user* yang sama dari teknik penjadwalan yang disimulasikan, sehingga dapat dibandingkan secara adil.

Referensi

- [1] Huawei Technologies Co., Ltd. 2015. *Scheduling Feature Parameter Description*.
- [2] Kuryu, Jae. 2012. *LTE Quick Reference*. http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_CQI.html. Diakses 11 April 2018.
- [3] RW, Panji. 2016. *Mengenal Qos Class Identifier (QCI) LTE*. <http://telecommunicationforall.co.id/2016/02/mengenal-qos-class-identifier-qci-lte.html>. Diakses 11 April 2018.
- [4] Suryaman, Bagus. 2010. *Perbandingan Performansi Algoritma Penjadwalan Round-Robin, Maksimum C/I, dan Proportional Fair Dengan Menggunakan HARQ Pada Sistem 3GPP LTE*. Skripsi. Bandung: Universitas Telkom.
- [5] Weihong, dkk. 2013. A QoS-Aware Scheduling Algorithm Based on Service Type for LTE Downlink. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE 2013)*.

