

Analisa Performansi Algoritma Penjadwalan *Proportional Fairness* Dan *Log Rule* Dengan Skenario *Multicell* Pada Sistem 3GPP LTE

Muhammad Dimas Arfianto¹, Ridha Muldina Negara², Indrarini Dyah Irawati³

^{1,2}Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

Email korespondensi : arfiadimas@gmail.com

Dikirim 23 Maret 2016, Diperbaiki 16 April 2016, Diterima 21 April 2016

Abstrak – Teknologi *Long Term Evolution* (LTE) dikembangkan dengan tujuan untuk mengurangi biaya yang dikeluarkan oleh pengguna maupun operator jasa telekomunikasi, memperluas daerah jangkauan, menambah kapasitas sistem, dan mengurangi *delay*. Dengan *spesifikasi* yang tinggi, LTE diharapkan mampu memberikan kemudahan pelanggan dalam mengakses layanan *Voice over IP*, *Streaming*, dan *Video Conference*. LTE diharapkan mampu memberikan layanan dengan besar *throughput* yang tinggi dan *delay* yang rendah. Padahal tidak semua *user* membutuhkan *throughput* yang sama besar namun yang dibutuhkan adalah kesesuaian pengendalian *delay* dan *fairness index* untuk setiap *user* dengan tetap memperhatikan batasan *throughput*. Untuk mendapatkan kinerja dan hasil yang maksimal tersebut pada LTE diperlukan sistem algoritma penjadwalan yang baik. Pada penelitian ini, dianalisis performansi LTE dengan parameter *Delay*, *Packet loss*, *Throughput*, dan *Fairness Index* menggunakan algoritma penjadwalan *Proportional Fairness* dan *Log Rule* pada LTE-Simulator dengan skenario menggunakan trafik VoIP, *Video* dan *Best Effort*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penjadwalan algoritma *Proportional Fairness* lebih baik dalam menangani layanan VoIP, sedangkan algoritma *Log Rule* lebih baik dalam menangani layanan *Video*. Hal ini menandakan kedua algoritma ini sangat cocok digunakan untuk jaringan LTE dengan kondisi trafik layanan *real-time*, tetapi tidak untuk layanan *non real-time* seperti layanan *Best Effort*.

Kata kunci – LTE, Algoritma Penjadwalan, *Proportional Fairness*, *Log Rule*

Abstract – Long Term Evolution technology (LTE) was developed in order to reduce the costs incurred by the users and telecommunication operators, extend the coverage area, increase system capacity, and reduce the delay. With a high specification, LTE is expected to provide convenience for customers to access the services of Voice over IP, Streaming, and Video Conference. LTE also expected to provide great service with a high throughput and low delay. Though not all users require the same throughput, but what is needed is control the delay and fairness index for each user with regard to the throughput limitations. To get the maximum performance and results on LTE, it takes good scheduling algorithm system. In this study, analyze the performance of LTE with Delay parameter, Packet loss, Throughput and Fairness Index using Proportional Fairness scheduling algorithm and Log Rule on LTE-Simulator using VoIP traffic, Video, and Best Effort. Also in this study indicates that the Proportional Fairness scheduling algorithms better at managing VoIP service, whereas Log Rule Algorithm better at managing video services. This indicates that both algorithms are well suited for LTE networks with traffic conditions of real-time services, but not for non real-time services such as Best Effort.

Keywords – LTE, Scheduling Algorithm, Proportional Fairness, Log Rule.

I. PENDAHULUAN

Beragamnya perkembangan layanan telekomunikasi saat ini menjadi satu alasan dikembangkannya teknologi *Long Term Evolution* (LTE) oleh badan *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) [8]. Teknologi ini juga merupakan evolusi teknologi *GSM/EDGE* dan *UMTS/HsxPA* yang

dikembangkan oleh badan *3GPP*. Dengan spesifikasi yang tinggi, teknologi *Long Term Evolution* (LTE) diharapkan mampu memberikan kemudahan pelanggan dalam mengakses layanan *Voice over IP*, *Streaming*, dan *Video Conference*. LTE diharapkan mampu memberikan layanan dengan *throughput* yang tinggi dan *delay* yang rendah.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Karimah Amatullah, Sitti, dengan judul Analisis Perbandingan Algoritma Penjadwalan PF dan MLWDF pada Kasus *Multicell* Jaringan *Long Term Evolution*, 2012, dilakukan percobaan dengan menggunakan algoritma penjadwalan yang hanya mempertimbangkan faktor *throughput* untuk *user* tanpa memperhatikan *delay* dan jenis trafik yang dilewatkan. Padahal, tidak semua *user* membutuhkan *throughput* yang sama besar, namun kesesuaian pengendalian *delay* dan *fairness index* untuk setiap *user* dengan tetap memperhatikan batasan *throughput* [11]. Dengan adanya algoritma penjadwalan yang baik, diharapkan QoS dapat terjaga.

Oleh karena itu dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap performansi penjadwalan algoritma *Proportional Fairness* dan *Log Rule* dengan menguji coba di dua skenario yaitu perubahan jumlah *user* 25, 50, 75, 100 dan kecepatan *user* 3, 30, 120 km/jam. Performansi kedua algoritma tersebut dianalisis menggunakan simulator LTE-Sim dengan menghitung parameter QoS yaitu *Delay*, *Packet Loss Ratio*, *Throughput*, dan *Fairness Index*. LTE-Sim disediakan gratis dengan lisensi dibawah GPLv3 [4].

II. METODOLOGI PENELITIAN

LTE adalah suatu teknologi seluler dengan arsitektur berbasis IP yang distandarisasi oleh 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP).

Tabel 1. Karakteristik LTE [7]

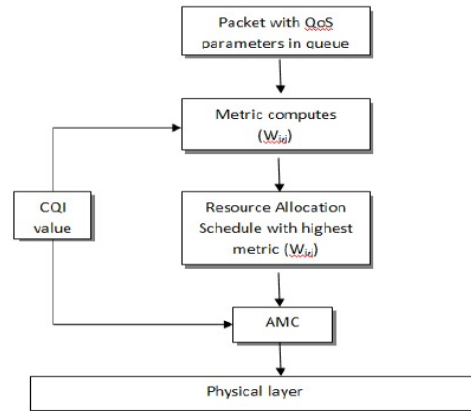
<i>Cell Radius</i>	Up to 5 km	<i>Mobility</i>	UP to 350 km/h
<i>Modulation</i>	QPSK, 16 QAM, 64QAM	<i>Duplexing</i>	FDD, TDD
<i>Downlink peak data rate</i>	100 Mbps	<i>Multiple Access</i>	OFDMA (Downlink)
<i>Uplink peak data rate</i>	50 Mbps	<i>Multiple Access</i>	SC FDMA (Uplink)
<i>Antenna</i>	Mimo 2x2	<i>Bandwidth</i>	1.4 – 20 Mhz
<i>Scheduling Algorithm</i>	Proportional Fairness dan Log Rule		

A. Penjadwalan Arah Downlink LTE [3]

Packet scheduler harus didesain reaktif terhadap perubahan pada *channel* dan jenis trafik, agar dapat merespon dengan cepat persyaratan QoS dari suatu layanan. Karena suatu paket pada suatu *flow* memiliki persyaratan QoS nya masing-masing. *Scheduler* harus cerdas dalam memutuskan urutan pertransmisiian paket. Paket memiliki urutan prioritas tergantung dari persyaratan QoS layanan paket tersebut.

Pengambilan keputusan urutan didasari dari berbagai metrik yang dilaporkan dari layer lain dalam *protocol stack*. Metrik-metrik yang biasa digunakan adalah.

1. Nilai CQI yang dilaporkan oleh *user*.
2. Metrik QoS seperti batasan *delay* atau *throughput* minimum.
3. Jumlah transmisi yang sudah dilaksanakan.



Gambar 1. Prosedur Penjadwalan Paket Arah Downlink [3]

Berikut ini prosedur dari penjadwalan paket arah *downlink*, dijabarkan sebagai berikut.

1. *eNB* membuat suatu daftar yang berisi paket siap untuk dikirimkan. Setiap paket yang berada pada daftar tersebut telah ditambahkan informasi mengenai CQI *feedback* dan MAC *queue length*.
2. Dilakukan penghitungan metrik $w_{i,j}$ sesuai dengan karakteristik dari tiap algoritma penjadwalan.
3. *eNB* menempatkan tiap *sub-channel* kedalam paket yang memiliki nilai metrik tertinggi.
4. Untuk tiap paket yang dijadwalkan, *eNB* menghitung ukuran dari *transport block*, yaitu jumlah data yang akan dikirimkan pada lapis MAC pada tiap TTI. Dalam hal ini, *eNB* menggunakan AMC untuk memetakan nilai CQI *feedback* dengan memilih skema *coding* dan modulasi (MCS) yang tepat sehingga *eNB* memperoleh ukuran *transport block* (TB) yang tepat dari skema *coding* dan modulasi yang dipilih tersebut.
5. Pada akhir prosedur penjadwalan, *eNB* menambahkan *bearer* ke tiap paket yang akan dijadwalkan, yang digunakan untuk mengatur transmisi paket pada lapis MAC.

B. Proportional Fairness [7]

Algoritma penjadwalan ini menetapkan sumber daya *ratio* berdasarkan kualitas kanal dan *throughput user* sebelumnya. Tujuan dari penggunaan algoritma *Proportional Fairness* ini adalah untuk memaksimalkan *throughput* total jaringan dan untuk menjamin *fairness* antar *flow*. Pada *Proportional Fairness* metrik $w_{i,j}$ didefinisikan sebagai rasio dari *data rate* pada saat itu ($r_{i,j}$) dan rata-rata *data rate* sebelumnya, yaitu:

$$W_{ij} = \frac{r_{i,j}}{R_i} \quad (1)$$

Dimana $r_{i,j}$ dihitung oleh modul AMC berdasarkan nilai CQI dari UE yang bersangkutan. Sedangkan (R_i) merupakan *data rate* rata-rata.

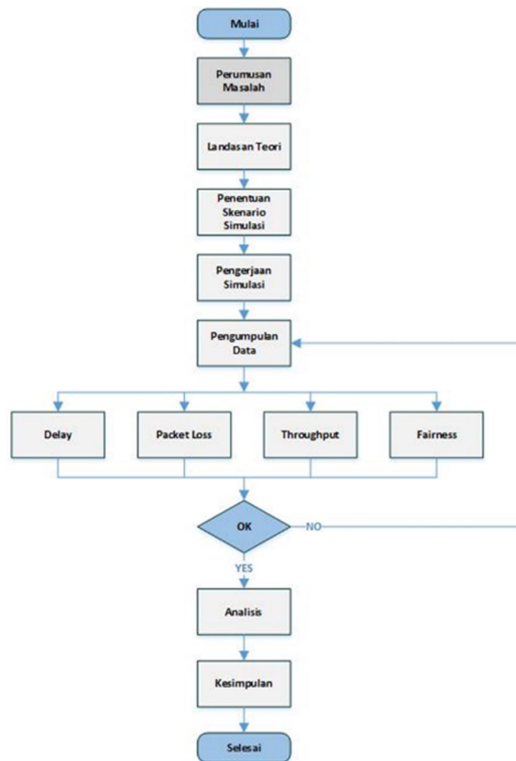
C. Log Rule [9]

Log Rule adalah algoritma penjadwalan yang mampu meminimalkan rata – rata *delay* dan mampu meminimalkan *probabilitas* dari jumlah antrian atau seluruh antrian sepanjang *buffer* yang ada. Ketika antrian *user* bertambah, Log Rule mengalokasikan tiap paket dengan cara memperhatikan keseimbangan dari seluruh *delay* antrian yang bertujuan untuk memaksimalkan *throughput*. Algoritma ini juga dikenal dengan algoritma *delay - optimal*.

Untuk paket *real time*, algoritma penjadwalan ini menghitung nilai matrik yang dimaksud dengan formula persamaan.

$$w_{i,j} = b_i \log(c + a_i W_i(t)) \times R_j(t) \quad (2)$$

Untuk paket *non-real time*, nilai ($c + a_i W_i(t)$) diabaikan, karena paket *non-real time* tidak mengharuskan adanya *delay* parameter $b_i = 1 \sqrt[3]{R_i}$, $c = 1.1$, dan $a_i = \frac{5}{d_i}$, d_i adalah waktu *delay* maksimum paket pada *user* ke-i. $W_i(t)$ adalah *head – of – line* (HOL) *packet delay* antrian *user* ke-i pada eNB *subframe* waktu ke-t. $R_j(t)$ adalah *data rate* UE pada *sub – channel* ke-j.

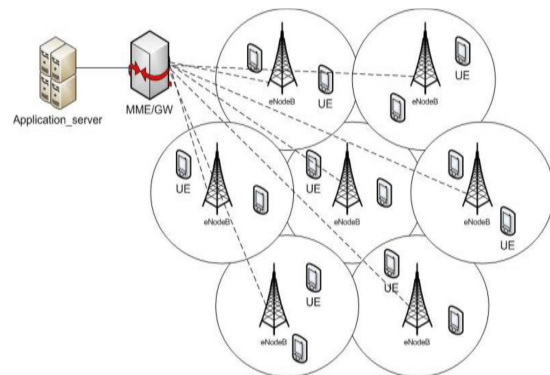


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pada bagian ini dijelaskan alir penelitian yang dilakukan, sebagaimana yang tertera pada Gambar 2. Pada awalnya penulis mencari *referensi* yang terkait lalu menemukan beberapa permasalahan, kemudian mempelajari teori – teori yang mendukung penelitian ini diantaranya pengertian LTE, arsitektur LTE, QoS, penjadwalan, dan algoritma penjadwalan *Proportional Fairness* dan *Log Rule*. Setelah mempelajari teori tersebut dilakukan simulasi dengan skenario *multicell* dan meliputi sistem yang digunakan beserta parameter – parameternya, jumlah *user*, jumlah sel, dan kecepatan pergerakan *user*. Setelah dilakukan proses ini, maka akan didapat evaluasi dari parameter yang telah ditentukan yaitu berupa QoS nilai dari *delay*, *packet loss*, *throughput*, dan *fairness*, dan dari kedua algoritma tersebut. Apabila ada *data error* atau kejanggalan pada data, akan dilakukan pengulangan pengumpulan data. Selanjutnya akan ditinjau dan dianalisis kualitas hasil QoS dengan membandingkan dengan *standard* QoS ITU-T. Setelahnya akan didapatkan kesimpulan dari hasil analisis tersebut.

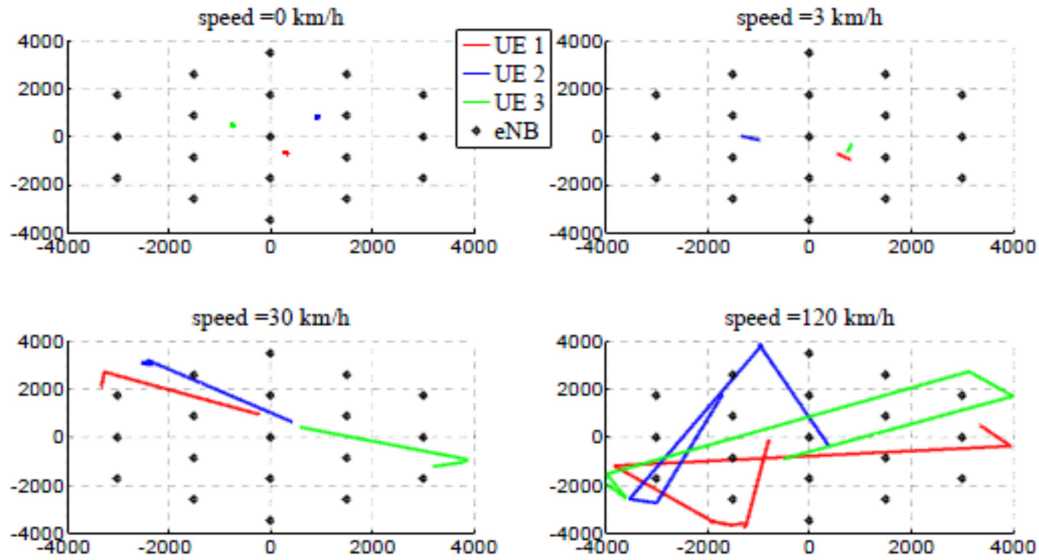
D. Desain Simulasi Jaringan

Model simulasi dari pengerjaan penelitian ini adalah pemodelan jaringan LTE yang terdiri dari 7 sel dimana terdapat 1 buah eNodeB pada masing – masing sel dan beberapa UE yang dilayaninya dengan konfigurasi layanan sesuai dengan skenario simulasi. ENodeB terhubung dengan EPC sebagai *core* layanan yang diwakili oleh MME/GW dimana ini terhubung dengan beberapa *server* layanan [7]. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Topologi Jaringan [7]

Simulasi dilakukan dengan model *user* yang bergerak dengan kecepatan tertentu, dan dapat mengalami *handover*. Tipe mobilitas *user* adalah *random direction*, dimana UE akan memilih arah pergerakan secara *random* yang bersifat konstan terhadap waktu, dan bergerak mendekati *boundary* area atau batas sel simulasi. Ketika UE sudah mencapai batas sel simulasi, UE akan memilih arah pergerakan baru [7]. Tipe mobilitas *random direction* ini di ilustrasikan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Tipe Mobile Node [7]

Pada Tabel 2 berikut merupakan konfigurasi yang digunakan pada simulasi, mencakup parameter sistem secara umum, parameter aplikasi yang digunakan oleh user. Parameter sistem secara umum mengikuti konfigurasi default dari simulator. Nilai, jenis dan tipe dari parameter yang ada disesuaikan dengan standar LTE pada Release-8 [12]. Parameter sistem dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Sistem [7]

System Parameter			
Simulation Time	100s	Flows Duration	100s
Type of Frame Structure	FDD	System Bandwidth	10 MHz
Number of Resource Blocks	50	Sub Carrier per Resource Block	12
Max Delay (Simulating)	0.04s	Sub carrier spacing	15 kHz
Scheduling Time (TTI)	1ms	Sub Channel Bandwidth	180 kHz
Cell Number	7	Cell Radius	1km
Antenna	MIMO 2x2	Handover	Yes
Mobility Type	Random Direction	Type of Scheduler	Proportional and Log Rule

Layanan dibangkitkan oleh beberapa trafik generator yakni trace based VoIP, Video dan Best Effort. Layanan VoIP dibangkitkan melalui voice flow G.729. Voice flow ini dimodelkan oleh ON/OFF Markov Chain dimana periode ON didistribusikan secara eksponensial dengan mean 3 detik dan periode OFF oleh eksponensial truncated dengan upper limit

6.9 detik dan nilai average 3 detik. Selama periode ON, source mengirimkan 20 byte paket setiap 20 ms. Sedangkan pada periode OFF paket yang dikirimkan adalah 0 byte akibat pengaktifan Voice Activity Detector. Untuk layanan Video trafik berupa layanan traced-based, dimana pengiriman paket berdasarkan file Video trace realistis yang tersedia pada simulator. Untuk layanan Best Effort, trafik dimodelkan oleh infinite buffer yang akan selalu memiliki paket untuk dikirimkan [7]. Berikut ini adalah konfigurasi tipe layanan tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Konfigurasi Tipe Layanan [7].

VoIP		VIDEO	
Voice Codec	G.729	Video Codec	H.264
Traffic Model	ON/OFF Markov Chain	Video Bitrate	242 kbps
Maximum Delay	100 ms	Maximum Delay	150 ms
Voice bitrate	8 kbps	BEST EFFORT	
Voice active detector	ON	Traffic Model	Infinite Buffer
ON periode	Exponential (mean : 3s)	Max Delay	300 ms
OFF periode	Truncated exponential (upper limit:6,9s, mean:3s)		
BACKGROUND TRAFFIC			
Jenis Traffic	WEB		
Distribusi	Pareto a=1,1 ; k=81,5		

E. Skenario Penelitian

Simulasi skenario yang dibahas di penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok yaitu skenario perubahan jumlah *user* dan skenario perubahan kecepatan *user* dalam waktu 100 detik.

F. Skenario 1, Perubahan Jumlah User

Skenario ini diuji dengan melakukan simulasi penambahan jumlah *user* secara berkala mulai dari 25, 50, 75, dan 100 *user*. Jumlah *user* ini digunakan berdasarkan penelitian - penelitian yang dilakukan sebelumnya, dimana fluktuasi QoS terjadi sampai dengan jumlah 100 *user*, dimana lebih dari itu grafik yang dihasilkan oleh parameter keluaran cenderung stabil. Pada simulasi, masing – masing *user* bergerak dengan kecepatan konstan menggunakan tipe *mobilitas random direction*. Sejumlah *user* yang disimulasikan tersebar pada 7 buah sel dengan radius 1 km pada masing – masing selnya, dan menggunakan distribusi *uniform*. Tiap *user* akan membangkitkan trafik layanan VoIP, Video dan BE dengan perbandingan 1:1:1 *flow* dalam waktu bersamaan selama 100 detik. Informasi yang diambil dari masing-masing simulasi terdiri dari *delay*, *throughput*, *packet loss ratio*, dan *fairness index* [7].

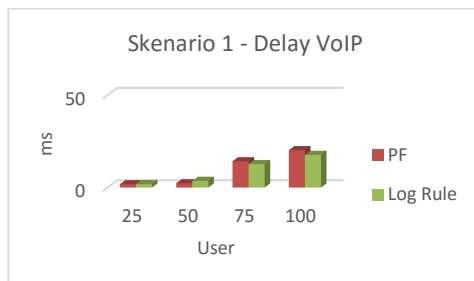
G. Skenario 2, Perubahan Kecepatan User

Skenario ini diuji pada 50 *user* yang bergerak dengan kecepatan 3, 30, dan 120 km/jam sesuai dengan standar *pedestrian* dan *vehicle* yang dikeluarkan oleh ITU-T [8]. Pada skenario ini, simulasi dilakukan selama 100 detik, dimana *user* bergerak menggunakan tipe *mobilitas random direction*, dimana *handover user* tidak didefinisikan sehingga jumlah *handover* yang terjadi pada simulasi disesuaikan dengan pergerakan *user* sesuai dengan kecepatannya masing-masing. Layanan yang diakses *user*, perbandingan jumlah *flow* layanan tiap *user*, dan informasi *output* sama seperti pada skenario 1 [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

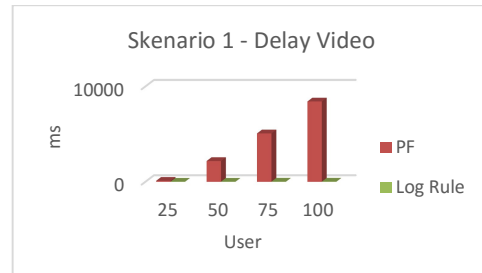
Pada bagian ini disajikan analisis hasil simulasi *scenario* perubahan jumlah *user*, dimana simulasi dilakukan pada 25, 50, 75, dan 100 *user* yang bergerak dengan kecepatan 3 km/jam dan tersebar di 7 *sel* dengan radius *sel* sebesar 1 km.

A. Skenario 1, Perubahan Jumlah User



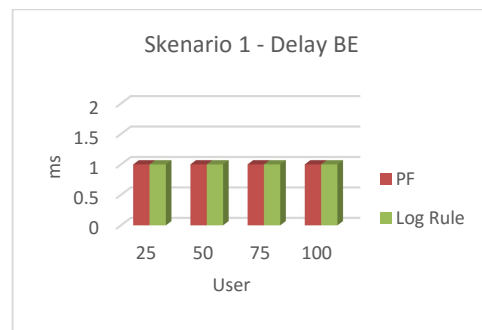
Gambar 5. Grafik Delay VoIP Pada Skenario 1

Pada Gambar 5, performansi algoritma *Log Rule* ketika jumlah *user* kecil, *delay* yang dihasilkan juga kecil hal ini dikarenakan karakteristik algoritma *Log Rule* adalah meminimalisir *delay* jaringan dan *delay* HOL. Pada algoritma *Proportional Fairness* cukup bersaing saat jumlah *user* relatif sedikit dikarenakan algoritma *Proportional Fairness* memperhatikan dan sensitif terhadap nilai *preference* metrik. Kedua Algoritma masih memenuhi standar untuk layanan *real-time* VoIP sesuai dengan standarisasi ITU-T, yaitu dibawah 100 ms.



Gambar 6. Grafik Delay Video Pada Skenario 1

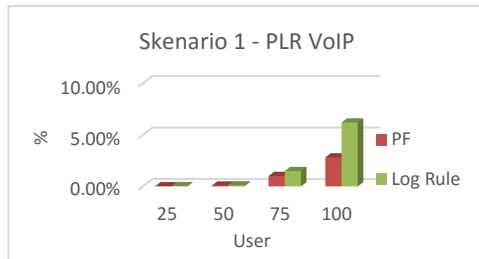
Dari Gambar 6, terlihat performansi algoritma *Log Rule* jauh lebih baik dari algoritma *Proportional Fairness* karena pada perhitungannya terdapat parameter *delay* dan *delay* HOL. Pada layanan Video di algoritma *Proportional Fairness* terdapat anomali pada hasil simulasi karena dalam perhitungan algoritma *Proportional Fairness* tidak ada parameter *delay* dan nilai *preference metric*. Pada layanan Video lebih besar dari layanan VoIP mengakibatkan kurangnya prioritas yang menyebabkan tingginya nilai *delay* pada layanan Video. Sehingga dalam layanan Video tidak dianjurkan menggunakan algoritma *Proportional Fairness* karena nilai *delay* nya mencapai 9 detik sehingga tidak memenuhi standar ITU-T yaitu 150 ms.



Gambar 7. Grafik Delay BE pada Skenario 1

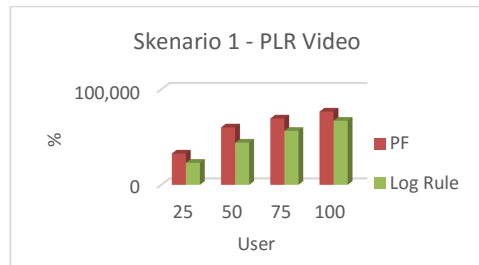
Pada Gambar 7, seperti yang dijelaskan sebelumnya, layanan BE dimodelkan oleh *infinite buffer* sehingga *delay* yang dihasilkan kedua algoritma, *Proportional Fairness* dan *Log Rule* akan selalu konstan yaitu 0.001 detik. Hal ini menunjukkan bahwa layanan BE selalu memiliki paket untuk

dikirimkan. Untuk layanan *non real-time* kedua algoritma ini masih memenuhi batas standar ITU-T yaitu dibawah 300 ms.



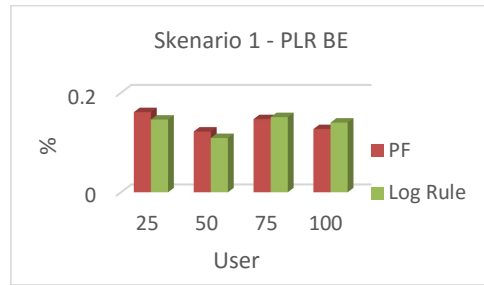
Gambar 8. Grafik PLR VoIP Pada Skenario 1

Terlihat dari Gambar 8, pada kedua algoritma menunjukkan semakin besar jumlah *user* maka semakin besar pula *packet loss* yang dihasilkan. Hal ini disebabkan *delay* yang meningkat. Dapat dilihat pada algoritma *Log Rule* nilai PLR meningkat tajam saat jumlah *user* dan beban jaringan meningkat. Untuk algoritma *Proportional Fairness* lebih baik karena dengan karakteristik algoritma ini yang sensitif dengan *preference metric* menyebabkan lebih unggul dalam layanan VoIP. Algoritma *Proportional Fairness* memiliki batas PLR 2.81% tergolong sangat baik (0% - 3%) dan algoritma *Log Rule* memiliki batas PLR 6.2% tergolong baik (3% - 15%).



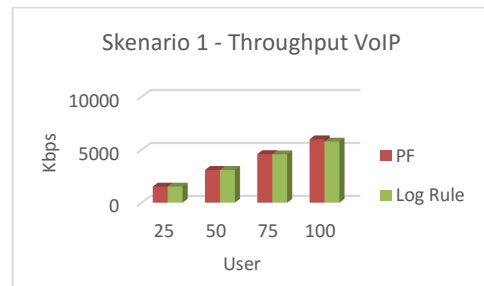
Gambar 9. Grafik PLR Video pada Skenario 1

Pada Gambar 9, algoritma *Proportional Fairness* yang pada perhitungannya tidak melibatkan parameter *delay* dan *preference metric* pada Video lebih besar dari VoIP menyebabkan tingginya nilai *delay* yang dihasilkan sehingga terjadi *packet drop*. Hal ini yang menyebabkan tingginya PLR pada layanan Video. Algoritma *Proportional Fairness* memiliki batas PLR 76.7% tergolong sangat buruk (> 25%) dan algoritma *Log Rule* memiliki batas PLR 67.1% tergolong sangat buruk (> 25%). Dapat disimpulkan untuk layanan PLR Video kedua algoritma sangat tidak dianjurkan untuk diterapkan.



Gambar 10. Grafik PLR BE pada Skenario 1

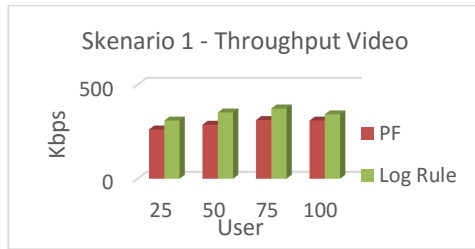
Pada jumlah *user* sedikit, kedua algoritma tersebut sama-sama mengalami penurunan yang disebabkan karena rendahnya beban trafik yang dilayani oleh kedua algoritma. Akan tetapi, ketika *user* bertambah algoritma *Log Rule* memberikan peningkatan yang jauh lebih baik dibandingkan *Proportional Fairness*. Variasi bentuk grafik kedua algoritma seperti pada Gambar 10, menunjukkan bahwa kedua algoritma ini kurang baik digunakan pada layanan *non real-time* seperti *Best Effort*. Namun kedua algoritma tersebut masih dapat dikatakan sangat baik (PLR < 25%).



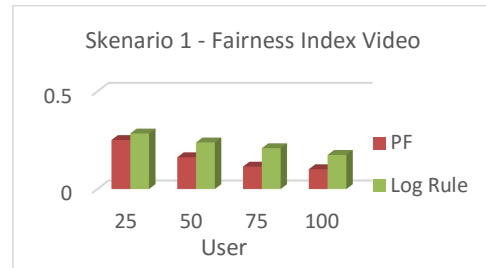
Gambar 11. Grafik Throughput VoIP pada Skenario 1

Pada Gambar 11, meningkatnya *throughput* di kedua algoritma dikarenakan kedua algoritma memiliki karakteristik yaitu memaksimalkan *throughput* jaringan terutama algoritma *Proportional Fairness*. Meskipun keduanya memiliki karakteristik memaksimalkan *throughput* namun algoritma *Proportional Fairness* lebih unggul di layanan VoIP. Besarnya *throughput* pada algoritma *Proportional Fairness* juga dipengaruhi oleh PLR pada layanan VoIP.

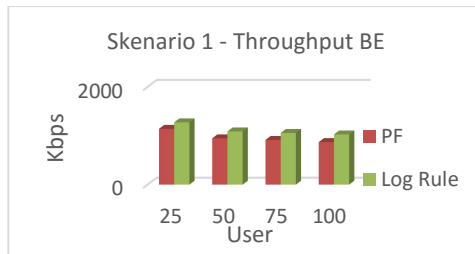
Pada Gambar 12, algoritma *Proportional Fairness* dan *Log Rule* memiliki karakteristik memaksimalkan *throughput*. Meskipun keduanya memiliki karakteristik memaksimalkan *throughput* namun algoritma *Log Rule* lebih unggul di layanan Video dikarenakan layanan Video memiliki nilai *preference* metrik yang besar. Besarnya *throughput* pada algoritma *Log Rule* juga dipengaruhi oleh PLR pada layanan Video.



Gambar 12. Grafik *Throughput Video* pada Skenario 1

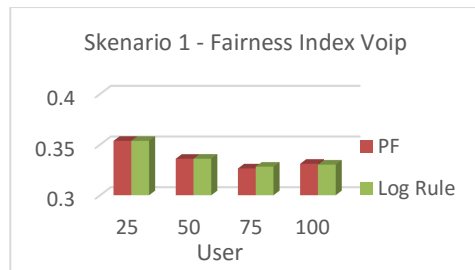


Gambar 15. Grafik FI *Video* pada Skenario 1



Gambar 13. Grafik *Throughput BE* pada Skenario 1

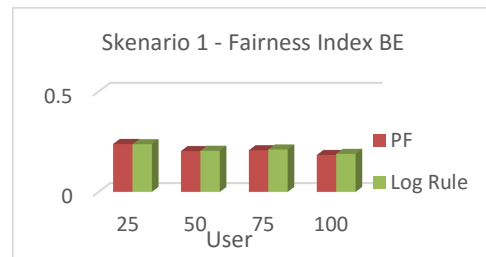
Dari Gambar 13, terlihat bahwa pada kedua algoritma seiring bertambahnya jumlah *user*, *throughput* yang dihasilkan pun akan semakin menurun. Hal ini disebabkan layanan *BE* dibangkitkan bersamaan dengan layanan *real-time* dimana performansi kedua algoritma *Proportional Fairness* dan *Log Rule* yang sama-sama memprioritaskan peningkatan *throughput* pada layanan *real-time*.



Gambar 14. Grafik FI *VoIP* pada Skenario 1

Pada Gambar 14, secara umum dari ketiga jenis trafik yang dibangkitkan, yaitu *VoIP*, *Video* dan *Best Effort* terus mengalami penurunan dalam *fairness index*. Hal ini disebabkan pengaruh dari kepadatan trafik dan jumlah paket yang diterima pengguna dalam waktu tertentu. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah *user* maka semakin menurun jumlah kualitas *Fairness index*-nya. Hal ini disebabkan karena kepadatan trafik pada layanan *VoIP*. Kedua algoritma tersebut masih jauh dari nilai ambang batas *Fairness index* yang di tetapkan ITU-T, yaitu 1.

Pada Gambar 15, menunjukkan hasil dari perbandingan nilai *fairness index* untuk algoritma *Proportional Fairness* dan *Log Rule*. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah *user* maka semakin menurun jumlah kualitas *Fairness index*-nya. Hal ini disebabkan karena kepadatan trafik pada layanan *Video*. Kedua algoritma tersebut masih jauh dari nilai ambang batas *Fairness index* yang ditetapkan ITU-T, yaitu 1.



Gambar 16. Grafik FI *BE* pada Skenario 1

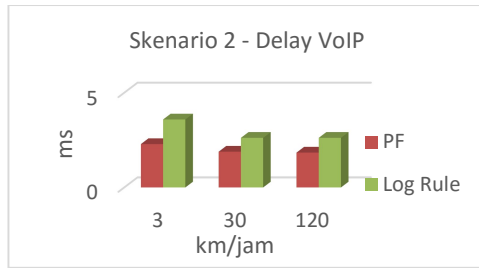
Pada Gambar 16, menunjukkan hasil dari perbandingan nilai *fairness index* untuk algoritma *Proportional Fairness* dan *Log Rule*. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah *user* maka semakin menurun jumlah kualitas *Fairness index*-nya. Hal ini disebabkan karena kepadatan trafik pada layanan *Best Effort*. Kedua algoritma tersebut masih jauh dari nilai ambang batas *Fairness index* yang di tetapkan ITU-T, yaitu 1.

B. Analisis Skenario Perubahan Kecepatan User

Pada bagian ini disajikan analisis hasil simulasi *scenario* perubahan kecepatan *user* menggunakan model *Jakes Channel* sesuai standar kecepatan *pedestrian* dan *vehicle* yang di standarkan oleh ITU-T [8], dimana simulasi dilakukan pada 3, 30, dan 120 km/jam dengan *user* sebesar 50 dan tersebar di 7 sel dengan radius masing-masing sel sebesar 1 km.

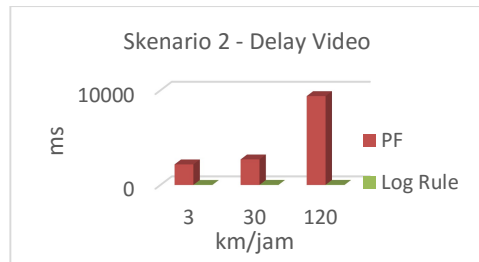
Terlihat pada Gambar 17, performansi algoritma *Proportional Fairness* lebih baik dikarenakan pada layanan *VoIP* memiliki nilai *preference metric* kecil sehingga algoritma *Proportional Fairness* mempunyai nilai *delay* yang lebih rendah. Pada algoritma *Log Rule* juga dapat mempertahankan performansinya

terhadap *delay* dikarenakan pada perhitungannya terdapat parameter *delay* dan *delay* HOL.



Gambar 17. Grafik Delay VoIP pada Skenario 2

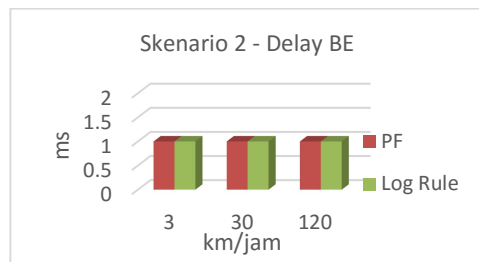
Dari keseluruhan hasil nilai *delay* kedua algoritma masih memenuhi standar *delay* untuk layanan *real-time* VoIP yang di standarisasi ITU-T yaitu dibawah 100 ms.



Gambar 18. Grafik Delay Video pada Skenario 2

Terlihat pada Gambar 18, performansi *Log Rule* untuk *real-time* Video lebih baik dari algoritma *Proportional Fairness*, ini disebabkan pada perhitungan algoritma *Log Rule* terdapat parameter *delay* dan parameter *delay* HOL.

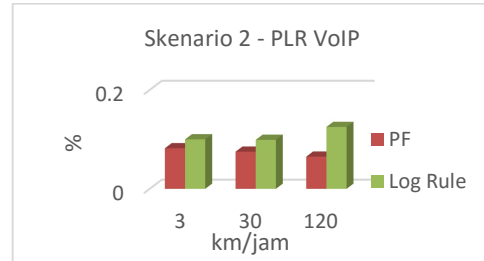
Pada algoritma *Proportional Fairness* terlihat jelas peningkatan yang cukup tajam dikarenakan karakteristik algoritma ini tidak memperhatikan *delay* dan pada layanan *Video* memiliki nilai *preference* metrik yang besar. Algoritma *Proportional Fairness* tidak memenuhi batas *delay* yang di tetapkan ITU-T karena melebihi 150 ms.



Gambar 19. Grafik Delay BE pada Skenario 2

Pada Gambar 19, seperti yang dijelaskan sebelumnya, layanan *BE* dimodelkan oleh *infinite* buffer sehingga *delay* yang dihasilkan kedua algoritma

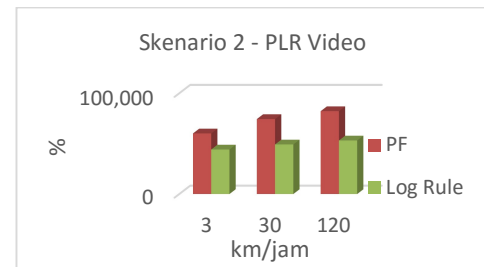
Proportional Fairness dan *Log Rule* akan selalu konstan yaitu 0.001 detik. Hal ini menunjukkan bahwa layanan *BE* selalu memiliki paket untuk dikirimkan. Untuk layanan *non real-time* kedua algoritma ini masih memenuhi batas standar ITU-T yaitu dibawah 300 ms.



Gambar 20. Grafik PLR VoIP pada Skenario 2

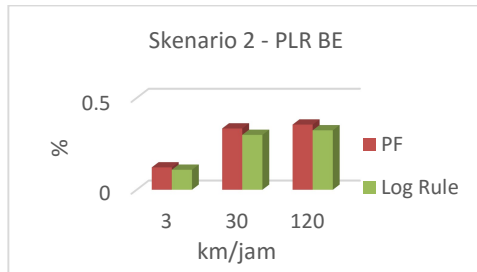
Terlihat pada Gambar 20, performansi *Log Rule* mengalami lonjakan PLR yang cukup besar ketika *user* mempercepat pergerakannya. Hal ini disebabkan tingginya *delay* yang menyebabkan adanya *packet drop*.

Pada algoritma *Proportional Fairness* terlihat lebih baik dikarenakan pada layanan VoIP memiliki nilai *preference* metrik yang kecil sehingga seiring bertambahnya kecepatan, algoritma ini dapat mengatasi masalah PLR lebih baik daripada algoritma *Log Rule*. Namun dari kedua algoritma tersebut sama-sama memenuhi batas *delay* yang distandarisasi ITU-T karena $PLR < 25\%$.



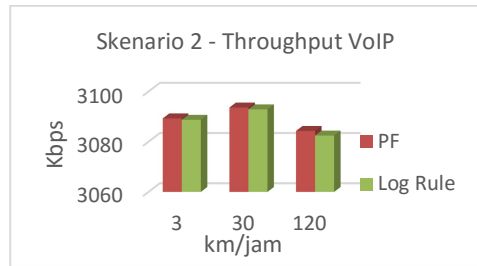
Gambar 21. Grafik PLR Video pada Skenario 2

Terlihat pada Gambar 21, performansi algoritma *Proportional Fairness* mengalami lonjakan yang tinggi daripada algoritma *Log Rule*. Hal ini disebabkan pada algoritma ini dalam perhitungannya tidak memasukan parameter *delay* dan pada layanan *Video* memiliki nilai *preference* metrik yang lebih besar dari layanan VoIP yang berpengaruh pada sistem prioritas sehingga menyebabkan tingginya *delay*. Tingginya *delay* menyebabkan terjadinya *packet drop* yang mengakibatkan nilai PLR tinggi. Kedua algoritma tersebut sama-sama tidak memenuhi batas PLR yang di standarisasi ITU-T karena $PLR > 25\%$.



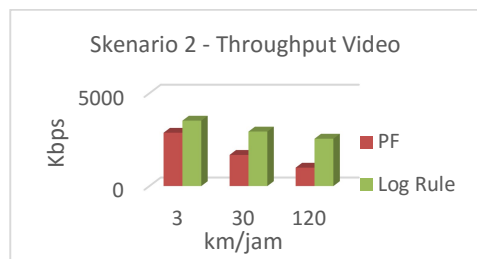
Gambar 22. Grafik PLR BE pada Skenario 2

Pada Gambar 22, performansi kedua algoritma meningkat seiring *user* mulai bergerak. Hal ini dikarenakan kondisi kanal yang memburuk dengan penambahan kecepatan *user*. Kedua algoritma masih memenuhi standar ITU-T karena nilai PLR < 25 %.



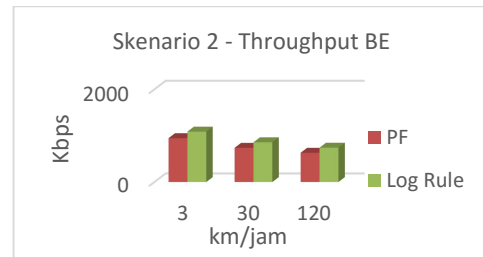
Gambar 23. Grafik Throughput VoIP pada Skenario 2

Dari Gambar 23, terlihat bahwa kedua algoritma sempat mengalami kenaikan ketika kecepatan 30 km/jam. Namun seiring bertambahnya kecepatan *user*, pada kecepatan 120 km/jam, *throughput* yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini disebabkan performansi kedua algoritma pada saat kecepatan 30 km/jam memiliki nilai PLR yang rendah, sehingga dampak terhadap *throughput* pun tinggi. Kurangnya performansi algoritma *Proportional Fairness* dan *Log Rule* ketika kecepatan 120 km/jam dipengaruhi PLR sehingga berdampak pada *throughput* yang menurun. Namun dari kedua algoritma tersebut, algoritma *Proportional Fairness* masih memberikan keunggulan dalam hal *throughput* dikarenakan algoritma *Proportional Fairness* cenderung lebih baik di layanan VoIP.



Gambar 24. Grafik Throughput Video pada Skenario 2

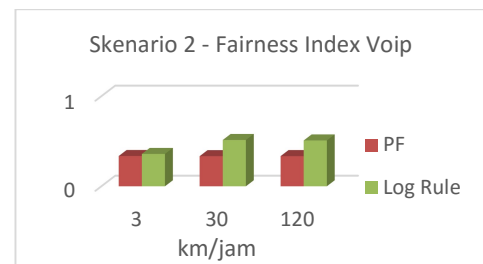
Dari Gambar 24, terlihat pada kedua algoritma, seiring bertambahnya kecepatan *user*, *throughput* yang dihasilkan semakin berkurang. Hal ini disebabkan pada performansi algoritma *Proportional Fairness* dan *Log Rule* ketika kecepatan *user* bertambah mulai dari 3, 30, dan 120 km/jam, nilai PLR untuk layanan *real-time Video* yang tinggi, sehingga berdampak pada *throughput* yang rendah.



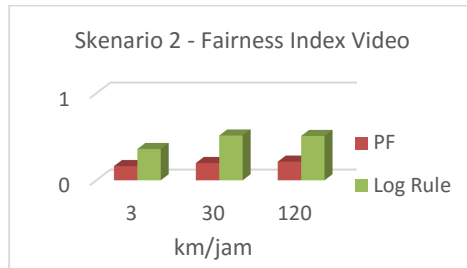
Gambar 25. Grafik Throughput BE pada Skenario 2

Dari Gambar 25, terlihat bahwa seiring bertambahnya kecepatan *user* pada kedua algoritma, *throughput* yang dihasilkan pun semakin berkurang. Hal ini disebabkan layanan BE dibangkitkan bersamaan dengan layanan *real-time*, dimana performansi kedua algoritma sama-sama memprioritaskan meningkatkan *throughput* pada layanan *real-time*, sehingga menyebabkan penurunan pada layanan *non real-time*. Performansi algoritma *Log Rule* masih dapat mempertahankan *throughput* disebabkan kondisi kanal yang baik.

Pada Gambar 26, kenaikan *Fairness Index* pada algoritma *Log Rule*, bagi *user* dengan kecepatan 30 km/jam disebabkan karena paket yang berhasil dikirim lebih tinggi, kepadatan trafik VoIP rendah, serta kondisi kanal yang baik. Sedangkan penurunan yang tidak terlalu signifikan ketika kecepatan 120 km/jam disebabkan mobilitas *random direction* yang dialami *user* yang mengakibatkan efek *Doppler* dan *pathloss*. Performansi kedua algoritma ini masih di bawah batas standar ITU-T yang ditentukan untuk FI yaitu 1.

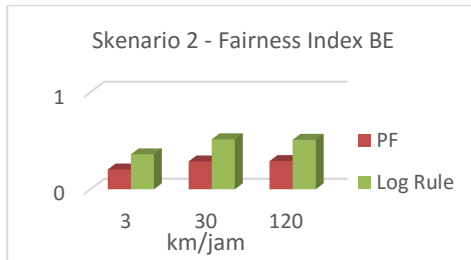


Gambar 26. Grafik FI VoIP pada Skenario 2



Gambar 27. Grafik FI Video pada Skenario 2

Dari Gambar 27, terlihat bahwa seiring bertambahnya kecepatan *user* pada kedua algoritma, FI yang dihasilkan semakin meningkat. Penyebabnya sama seperti halnya pada layanan VoIP yang telah dijelaskan sebelumnya. Performansi kedua algoritma tersebut untuk layanan Video masih dibawah standar ITU-T yaitu 1.



Gambar 28. Grafik FI BE pada Skenario 2

Dari Gambar 28, terlihat bahwa seiring bertambahnya kecepatan *user* pada kedua algoritma tersebut, nilai FI yang dihasilkan semakin berkurang. Penyebabnya sama halnya seperti pada layanan VoIP dan Video yang telah dijelaskan sebelumnya. Performansi kedua algoritma tersebut untuk layanan BE masih di bawah standar ITU-T yaitu 1.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada perangkat lunak berbasis *open source* LTE-SIM dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Algoritma *Proportional Fairness* memperhitungkan sumber daya *ratio* dan *preference* metrik, terbukti pada saat layanan VoIP algoritma ini lebih baik karena pada layanan VoIP memiliki *preference* metrik yang lebih baik dari pada Video dan BE.
2. Algoritma *Log Rule* bertujuan untuk meminimalkan *delay*, terbukti meski jumlah *user* bertambah ataupun kecepatan *user* berubah, algoritma *Log Rule* mampu meminimalkan *delay* dari kedua layanan *real-time* yaitu VoIP dan Video.
3. Pada skenario penambahan jumlah *user* dan penambahan kecepatan *user* untuk layanan *real-*

time VoIP, penggunaan algoritma *Proportional Fairness* lebih cocok didasarkan atas nilai PLR yang rendah, *throughput* yang tinggi, dan tingkat keadilan yang cukup merata untuk setiap layanan.

4. Pada skenario penambahan jumlah *user* dan penambahan kecepatan *user* untuk layanan *real-time Video* penggunaan algoritma *Log Rule* lebih cocok didasarkan atas nilai PLR yang rendah, *throughput* yang tinggi, dan tingkat keadilan yang cukup merata untuk setiap layanan.
5. Untuk layanan *non real-time* seperti BE pada jumlah *user* bertambah ataupun kecepatan *user* berubah penerapan kedua penjadwalan *Proportional Fairness* dan *Log Rule* kurang cocok. Karena kedua algoritma ini memprioritaskan layanan *real-time* yaitu VoIP dan Video.

B. Saran

Tugas Akhir ini sangat memungkinkan untuk dikembangkan khususnya untuk analisis penjadwalan. Adapun saran untuk pengembangan selanjutnya adalah:

1. Melakukan simulasi dan analisis penjadwalan *Proportional Fairness* dan *Log Rule* pada lingkungan yang berbeda.
2. Melakukan simulasi dan analisis perbandingan *Log Rule* dengan menggunakan penjadwalan lain seperti MLWDF, EXP RULE, FLS pada *multicell*.
3. Melakukan pengujian dan simulasi dengan *bitrate* lebih tinggi pada layanan Video.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali,S, Zeeshan.M.. A Utility Based Resource Allocation Scheme with Delay Scheduler for LTE Service-Class Support. IEEE Wireless Communication and Networking Conference: MAC and CrossLayer Design. 2012
- [2] Dikamba, T. Downlink Scheduling In 3GPP Long Term Evolution, Delft University of Technology. 2011
- [3] Elvyra, Sari. Analisis Performansi Penjadwalan Paket Pada Jaringan LTE (Long Term Evolution) Arah Downlink untuk Mendukung Layanan Triple Play. 2011
- [4] Giuseppe, PiroLTE. LTE Simulator. Diambil dari: www.telematics.poliba.it/index.php/en/lte-sim. 2011
- [5] Haryati, Vidya. Analisa QoS Long Term Evolution (LTE) Terhadap Pengaplikasian Interface X2 Saat Handover. 2012
- [6] Hill B, Miriam B, Michael B. OFDMA System, Pilot Signal and Doppler Effect. 2009
- [7] Karimah Amatullah, Sitti. Analisis Perbandingan Algoritma Penjadwalan PF dan MLWDF Pada Kasus Multicell Jaringan Long Term Evolution. 2012
- [8] Piro,G, Alfredo.L, Boggia.G. Simulating LTE Cellular System : an Open Source Framework || . IEEE TRANS. VEH. TECHNOL. 2010
- [9] Setiawan, Alvin. Bagus. Analisis Performansi Algoritma Penjadwalan: Log Rule dan Exponential Rule pada Jaringan LTE. 2012

- [10] Sivasubramaniam, Anand. Analyzing the Short Term Fairness of IEEE 802.11 in Wireless Multihop Radio Networks. 2002
- [11] Suryaman, B. Perbandingan Performansi Algoritma Penjadwalan Round Robin, Maximum C/I, dan Proportional Fair dengan Menggunakan HARQ pada Sistem 3GPP LTE.
- [12] Overview of 3GPP Release 8 V0.3.3 (2014-09) Diambil dari: http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Rel-08_description_20140924.zip