

ANALISIS PERFORMANSI ALGORITMA PENJADWALAN LOG RULE DAN FRAME LEVEL SCHEDULE SKENARIO MULTICELL PADA LAYER MAC LTE

Ridwan*, Indrarini Dyah Irawati, Ridha Muldina Negara

Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

*Corresponding author, e-mail : ridwanchaerawan@gmail.com

Abstrak — Teknologi telekomunikasi selular berkembang guna mendukung layanan *triple play* yaitu *voice*, *data*, dan *video* yang lebih baik kepada pengguna jasa telekomunikasi. LTE (*Long Term Evolution*) adalah suatu jaringan berbasis IP (*Internet Protokol*) yang distandarisasi oleh 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Untuk mendukung hal itu, LTE memerlukan suatu mekanisme yang dapat mendukungnya. Salah satunya dengan menerapkan metode penjadwalan paket di tiap layanan. Penjadwalan adalah perlakuan terhadap paket yang datang sesuai dengan prioritas dari masing-masing algoritma penjadwalan. Pada penelitian ini, menganalisis performansi LTE dengan parameter *Delay*, *Packet loss*, *Throughput* dan *Fairness Index* menggunakan algoritma penjadwalan FLS (*Frame Level Schedule*) dan *Log Rule* pada LTE-Simulator dengan skenario menggunakan *trafik VoIP*, *Video* dan BE (*Best Effort*). Hasil yang didapatkan adalah penjadwalan algoritma FLS lebih baik dibandingkan *Log Rule* dalam hal *throughput* sedangkan penjadwalan algoritma *Log Rule* lebih baik dibandingkan FLS dalam hal *delay* berdasarkan perubahan jumlah dan kecepatan *user* di setiap layanan *real time*. Hal ini menandakan kedua algoritma ini sangat cocok digunakan untuk jaringan LTE dengan kondisi trafik layanan *real time*, tetapi tidak untuk layanan seperti *non real time* yakni BE.

Kata Kunci : LTE, *Scheduling*, QoS, layanan *triple play*, *Log Rule* dan FLS.

Abstract — Mobile telecommunications technology gradually evolved to support better services such as voice, data, and video to users of telecommunications services. LTE (Long Term Evolution) is a network based on Internet Protocol (IP) standardized by 3rd Generation Partnership Project (3GPP). To support it, LTE requires a mechanism that can support. One of them by applying methods of scheduling packets in each service. Scheduling is a different treatment to packets that come in accordance with the priorities of the scheduling algorithm. In this research, to analyze the performance of LTE with parameter delay, packet loss ratio, throughput and fairness index uses a scheduling algorithms Frame Level Schedule (FLS) and Log Rule on LTE-Simulator with scenarios using Voip traffic, Video and Best Effort (BE). The results is scheduling algorithms FLS is better than log rule in term of throughput values, while of scheduling algorithms log rule is better than FLS in terms of delay based on the number and speed of the users. This indicates that both scheduling algorithms suitable for use in LTE networks within conditions of traffic real time services, but not for non real time services such as BE.

Keywords LTE, *Scheduling*, QoS, *Triple Play Services*, *Log Rule* dan FLS.

Copyright © 2016 JNTE. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Teknologi telekomunikasi selular berangsur-angsur berkembang guna mendukung layanan yang lebih baik kepada pengguna jasa telekomunikasi pada era sekarang. Hal ini sesuai dengan tuntutan pelanggan yang menginginkan bermacam-macam jenis layanan yang dapat di akses dalam satu *platform* tertentu, seperti layanan *triple play* yang merupakan layanan suara, data, dan *video*.

Perkembangan layanan ini menjadi salah satu motivasi pengembangan *long term evolution* oleh 3GPP (*3rd generation partnership Project*).

Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian oleh Stefano, R. (2014) tentang Analisis Perbandingan Kinerja Algoritma Penjadwalan EXP/PF (*Exponential / Proportional Fair*), PF (*Proportional Fair*), dan FLS namun hanya pada Kasus Single Cell Jaringan LTE^[1] sedangkan penelitian yang penulis lakukan adalah pada skenario multicell,

selain itu juga ada penelitian oleh Amatullah, S. K. (2012) tentang Analisis Perbandingan Algoritma Penjadwalan PF dan MLWDF (*Modified Largest Weighted Delay First*) Pada Kasus *Multicell* Jaringan Long Term^[2]. Algoritma penjadwalan yang diteliti hanya mempertimbangkan faktor *throughput* dan *fairness* untuk *user* tanpa memperhatikan jenis trafik yang dilewatkan^{[3][1]}. Padahal, tidak semua *user* membutuhkan *throughput* yang sama besar. Yang dibutuhkan adalah kesesuaian pengendalian *delay* untuk masing-masing *user* dengan tetap memperhatikan batasan *throughput*^[12]. Dengan adanya algoritma penjadwalan yang tepat, QoS (*Quality Of Services*) dapat dijamin oleh jaringan.

Berdasarkan penelitian diatas, penulis melakukan penelitian lanjutan yaitu menganalisis performansi penjadwalan algoritma *log rule* dan *frame level schedule* dengan skenario perubahan jumlah *user* 25, 50, 75, 100 dan kecepatan *user* 3, 30, 120 km/jam. Algoritma *Log rule* (LR) dan *Frame Level Schedule* (FLS) ini adalah pengembangan dari algoritma *proportional fair* (PF). Pada penelitian sebelumnya, algoritma *proportional fair* (PF) tidak begitu baik dalam menangani paket berbasis *real time*, karena dalam perhitungan matriknya tidak disertakan perhitungan yang melibatkan parameter paket *real time* seperti *max. delay* yang ada pada paket layanan *real time*^{[2][1]}. Hal ini yang melatarbelakangi terbentuknya algoritma *log rule* dan *frame level schedule* (FLS) karena kemampuan yang baik dalam menangani ciri paket *real time* yakni sensitive terhadap *delay*. Performansi kedua algoritma tersebut dianalisis menggunakan simulator LTE-Sim dengan menghitung parameter QoS yaitu *delay*, *packet loss ratio*, *throughput*, dan *fairness index*.

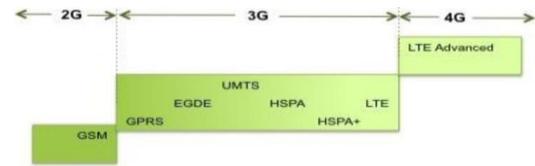
2. DASAR TEORI

2.1. Pengertian LTE

LTE adalah suatu teknologi seluler dengan arsitektur berbasis IP yang distandarisasi oleh *3rd Generation Partnership Project* (3GPP)^[4]. Evolusi Jaringan dapat dilihat pada Gambar 1.

Tujuan utama dari pengembangan LTE adalah untuk meningkatkan performansi jaringan sehingga meningkatkan kepuasan pelanggan dan untuk mengkonvergensi

jaringan-jaringan yang sudah ada sehingga bisa saling terkoneksi dengan mudah.



Gambar 1. Evolusi Jaringan^[9]

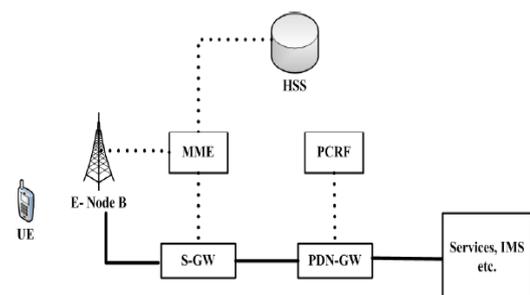
Keuntungan yang diharapkan dari LTE antara lain adalah *throughput* yang tinggi, *latency* yang rendah, peningkatan kepuasan pelanggan dan arsitektur jaringan yang sederhana^[4]. Karakteristik LTE dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik LTE^[3]

Cell Radius	Up to 5 km	Mobility	UP to 350 km/h
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64QAM	Duplexing	FDD, TDD, half Duplex FDD
Downlink peak data rate	100Mbps	Multiple Access	OFDMA (Downlink)
Uplink peak data rate	50Mbps	Multiple Access	SC FDMA (Uplink)
Antena	Mimo 2x2	Bandwidth	1.4-20 Mhz
Scheduling Algorithm	Frane Level Schedule (FLS) dan Log Rule		

2.2. Arsitektur LTE

Jaringan LTE dirancang untuk tujuan mendukung trafik *packet switching* dengan mobilitas tinggi, QoS, dan *latency* yang kecil. Pendekatan *packet switching* ini memperbolehkan semua layanan termasuk layanan voice menggunakan koneksi paket. Oleh karena itu pada arsitektur jaringan LTE dirancang sesederhana mungkin, yaitu hanya terdiri dari dua node yaitu eNodeB dan *mobility management entity / gateway* (MME/GW).



Gambar 2. Arsitektur Dasar Jaringan LTE^[11]

Elemen dasar arsitektur jaringan LTE pada Gambar 2 yaitu:

2.2.1. UE (User Equipment)

Merupakan perangkat / terminal radio yang digunakan *user* untuk menghubungkan jaringan LTE. UE pada LTE tidak berbeda dengan UE pada *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) atau teknologi sebelumnya.

2.2.2. E-UTRAN

E-UTRAN adalah eNodeB yaitu evolusi dari *Radio Access Network* (RAN) dan *Radio Network Controller* (RNC) yang keduanya terdapat di teknologi sebelum LTE. Fungsi eNodeB yaitu untuk *radio resource management*, mengontrol / mengawasi pengiriman, penerimaan sinyal, berperan dalam autentikasi, dan mengatur *scheduling*.

2.2.3. EPC / Core Network [2]

1. MME (Mobility Management Entity)

MME dapat dianalogikan sebagai MSC pada teknologi GSM (*Global System For Mobile*). MME adalah kontrol utama pada jaringan akses LTE. MME berfungsi untuk mengatur *handover*, yaitu memilih MME lain untuk *handover* dengan MME lain, atau memilih SGSN untuk *handover* dengan jaringan 2G/3G.

2. HSS (Home Subscriber Server)

HSS adalah *database* utama yang ada pada jaringan LTE. HSS adalah sebuah HLR (*Home Location Register*) yang mengkombinasikan fungsi HLR sebagai *database* dan AuC sebagai autentikasi.

3. PCRF (Policy and Charging Rules Function)

PCRF menyediakan kebijakan pengaturan dan aliran keputusan untuk pembiayaan / *charging*.

4. SGW (Serving Gateway)

SGW terdiri dari dua bagian, yaitu 3GPP Anchor dan SAE Anchor. 3GPP Anchor berfungsi sebagai *gateway* paket data yang berasal dari jaringan 3GPP, sedangkan SAE Anchor berfungsi sebagai *gateway* jaringan *non-3GPP*.

5. PDN-GW (Packet Data Network Gateway)

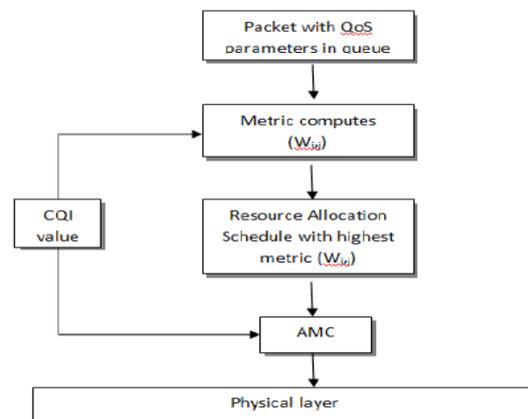
PDN-GW berfungsi sebagai penghubung antara teknologi LTE dengan teknologi *non*

3GPP seperti wifi dan wimax. PDN-GW merupakan level tertinggi pada sistem.

2.3. Penjadwalan Paket Arah Downlink^[3]

Penentuan suatu paket akan dijadwalkan dipengaruhi oleh beberapa informasi yang harus terpenuhi. Informasi ini akan dikombinasikan dengan perhitungan dari bobot matrik tiap algoritma penjadwalan untuk menghasilkan prioritas pada paket. Informasi ialah sebagai berikut:

1. Nilai CQI (*Channel Quality Indication*) yang dilaporkan oleh *user*.
2. Nilai QCI (*Qos Class Identifier*). Berisi tentang parameternya.
3. *Resource allocation history*, mengetahui jumlah transmisi yang sudah dilaksanakan sebelumnya.



Gambar 3. Blok diagram penjadwalan^[3]

Berikut ini prosedur dari Gambar 3 penjadwalan paket arah *downlink*:

1. eNB mendaftarkan *flow* yang memiliki paket untuk dikirimkan.
2. Berdasarkan algoritma penjadwalan, dilakukan penghitungan matrik $w_{i,j}$.
3. eNB menetapkan *sub-channel* pada antrian yang memiliki nilai matrik tertinggi.
4. eNB menghitung ukuran dari *transport block*, yaitu kuota dari data yang akan dikirimkan pada lapisan MAC. eNB menggunakan AMC (*Adaptive Modulation and Coding*) untuk memetakan nilai CQI dengan MCS (*Modulation and Coding Scheme*). Kemudian, eNB dapat memperoleh ukuran *Transport Block* (TB) dari MCS yang dipilih yaitu kuota dari data biner pada lapis fisik

5. Lalu eNB mengambil paket dari *flow* sesuai dengan kuota yang telah dihitung.

2.4. Log Rule^[3]

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 (1).

$$w_{i,j} = b_i \log(c + a_i W_i(t)) \times R_j(t) \quad (1)$$

untuk paket *non-real time*, nilai $(c + a_i W_i(t))$ diabaikan, karena paket *non-real time* tidak mengharuskan adanya *delay* parameter $b_i = 1 \sqrt{R_i}$, $c = 1.1$, 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*.

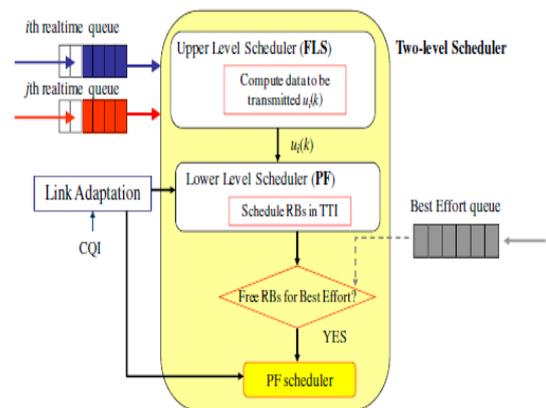
2.5. Frame Level Schedule^[5]

FLS adalah pola penjadwalan yang terdapat di level teratas dari dua level penjadwalan dibawahnya yakni *proportional fair (PF)*. Algoritma dengan alokasi sumber yang berkompleksitas rendah berdasarkan teori *control* linear waktu diskret, diimplementasikan di level atas ini. Algoritma ini menghitung jumlah data yang masing-masing sumber *real-time* harus mentransmisikan ke dalam *single frame*, untuk memenuhi batas *delay*. Persamaan berikut (2) menghitung jumlah data yang akan ditransmisikan.

$$u_i(k) = h_i(k) * q_i(k) \quad (2)$$

Dimana $u_i(k)$ berkorespondensi ke jumlah data yang ditransmisikan selama k^{th} *frame*. “*”

adalah operator konvolusi waktu diskrit. $q_i(k)$ adalah tingkat antrian. Persamaan diatas mengatakan bahwa $u_i(k)$ diperoleh dengan menyaring filter sinyal $q_i(k)$ melalui saringan linier waktu-invariant dengan respon pulsa $h_i(k)$. Berikut penjelasan lebih detail pada Gambar 4 mengenai algoritma FLS.

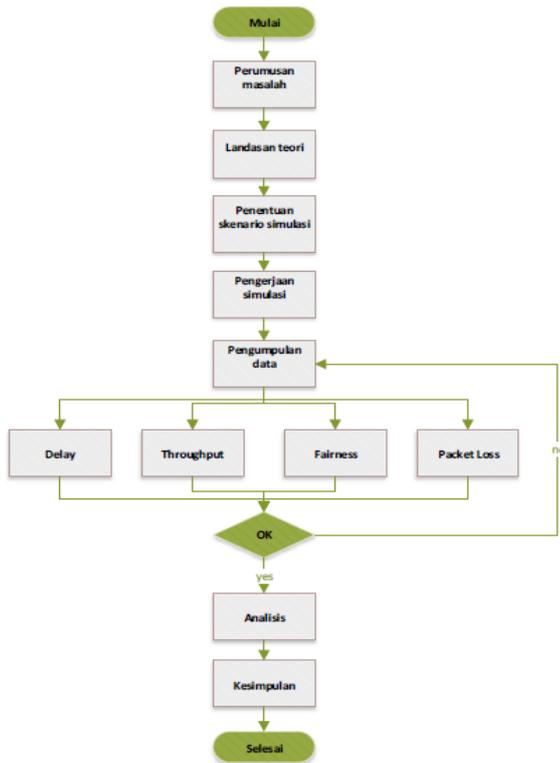


Gambar 4. Blok diagram dua level penjadwalan^[5]

3. PEMBAHASAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 5 pada mulanya penulis mencari referensi yang terkait lalu merumuskan masalah yang mendasari penelitian ini, kemudian mempelajari teori-teori yang mendukung penelitian ini di antaranya pengertian LTE, arsitektur LTE, QoS, penjadwalan, dan algoritma penjadwalan *Log Rule* dan FLS. Setelah mempelajari teori tersebut akan dilakukan simulasi dengan skenario *multicell* dan meliputi *system* 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*, *throughput*, *fairness*, dan *packet loss* dari kedua algoritma tersebut. Apabila ada data *error* atau kegagalan pada data, akan dilakukan pengulangan pengumpulan data. Selanjutnya akan ditinjau dan analisis kualitas hasil QoS skenario pada penjadwalan ini dengan membandingkan standar QoS ITU - T. Setelahnya akan didapatkan kesimpulan dari hasil analisis tersebut..



Gambar 5. Diagram alir penelitian

3.2. Desain simulasi jaringan

Berikut ini pada tabel 2 adalah 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 Realese-8^[6].

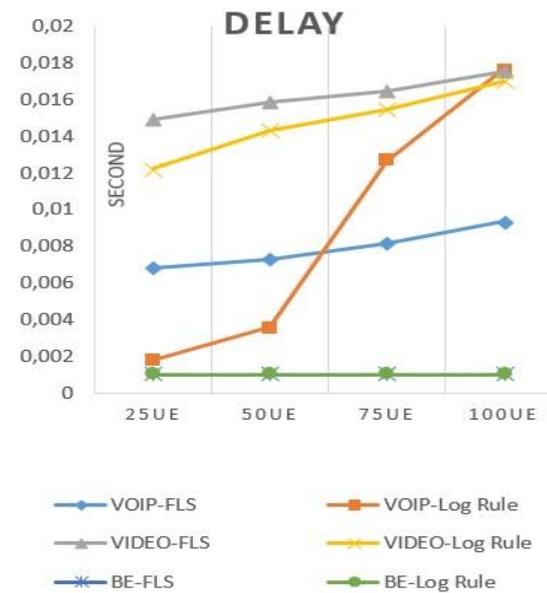
Tabel 2. Parameter sistem ^[2]

Parameter System			
Simulation Time	100s	Flows Duration	100s
Type of Frame Structure	FDD	System Bandwidth	10 MHz
Cell Radius	1km	Cell Number	7
Max Delay	0.004 detik	Mobility Type	Random Direction
Type of Scheduler	Log Rule dan FLS	Handover	YES
Number of Resource Blocks	50	Sub Carrier per Resource Block	12
Scheduling Time (TTI)	1 ms	Sub carrier spacing	15 kHz
Antena	MIMO 2x2	Sub Channel Bandwidth	180 kHz

4. ANALISIS

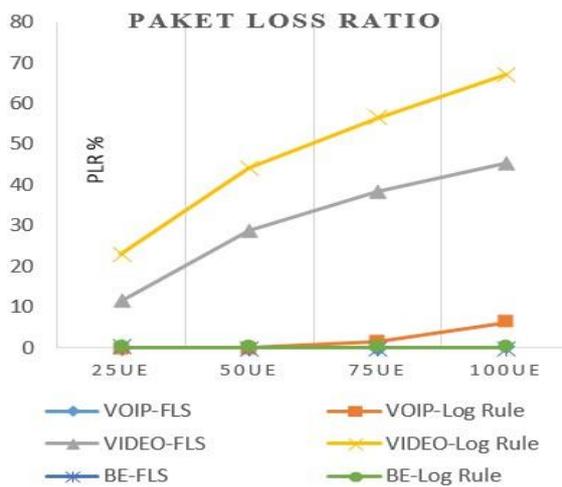
4.1. Analisis skenario perubahan jumlah user

Pada bagian ini disajikan analisis hasil simulasi *scenario* perubahan jumlah user berdasarkan percobaan-percobaan yang telah dilakukan sebelumnya, dimana simulasi dilakukan pada 25, 50, 75, dan 100 user yang bergerak dengan kecepatan 3 km/jam dan tersebar di 7 sel dengan radius masing-masing sel sebesar 1 km^[2]



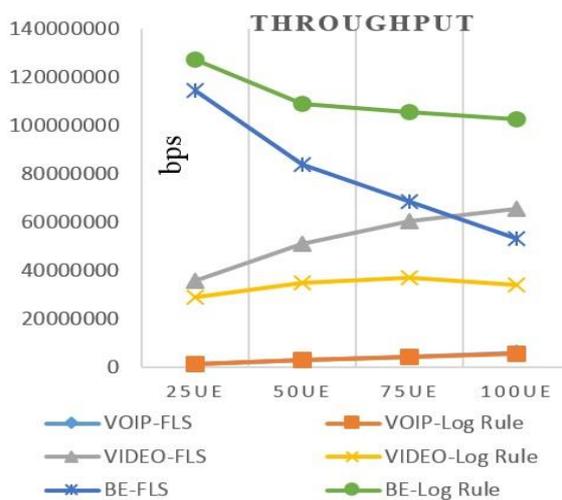
Gambar 6. Delay skenario perubahan jumlah user pada tiap layanan.

Pada gambar 6 secara umum dari dua layanan *real time* yang disimulasikan yaitu *voip* dan *video*, semakin banyak jumlah user yang ditangani, semakin besar pula nilai *delay one way* yang dihasilkan dikarenakan layanan yang dibangkitkan bersamaan dalam satu kanal. Hal ini juga dipengaruhi oleh prioritas pada setiap layanan, dimana untuk prioritas dalam metode penjadwalan pada urutan pertama adalah *voip*, kedua *video*, dan ketiga *best effort* dalam simulasi ini. Untuk layanan BE merupakan layanan delay tolerant, dikarenakan karakteristik BE yaitu data dan paket yang dikirimkan harus selalu ada maka aliran layanan tersebut pada simulasi ini di menggunakan model *infinite buffer*, yang mana paket terakhir di transmisikan 1ms sehingga delay tidak dapat melebihi nilai tersebut^[7].



Gambar 7. PLR skenario perubahan jumlah user pada tiap layanan

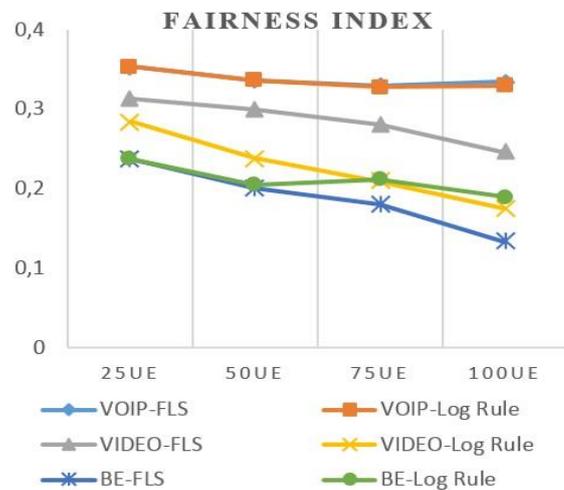
Pada gambar 7 secara umum dari dua layanan *real time* yang disimulasikan yaitu *voip* dan *video*, semakin banyak jumlah *user* yang ditangani, semakin besar pula nilai PLR yang dihasilkan. Hal ini disebabkan sumber daya yang kurang memadai sehingga kondisi kanal buruk. Namun penambahan jumlah *user* ini tidak berlaku untuk layanan *non real time* BE, yang menunjukkan hasil bervariasi disebabkan kedua algoritma *log rule* dan FLS memprioritaskan layanan *real time*.



Gambar 8. Throughput skenario perubahan jumlah user pada tiap layanan

Pada gambar 8 secara umum dari dua layanan *real time* yang disimulasikan yaitu *voip* dan *video*, semakin banyak jumlah *user* yang

ditangani, semakin besar pula nilai *throughput* yang dihasilkan sebab sumber daya yang diberikan masih mencukupi dalam hal ini yaitu *bandwidth* yang di alokasikan. Namun penambahan jumlah *user* ini tidak berlaku untuk layanan *non real time* BE yang menunjukkan penurunan akibat kepadatan trafik yang mempengaruhinya.



Gambar 9. Fairness Index skenario perubahan jumlah user pada tiap layanan

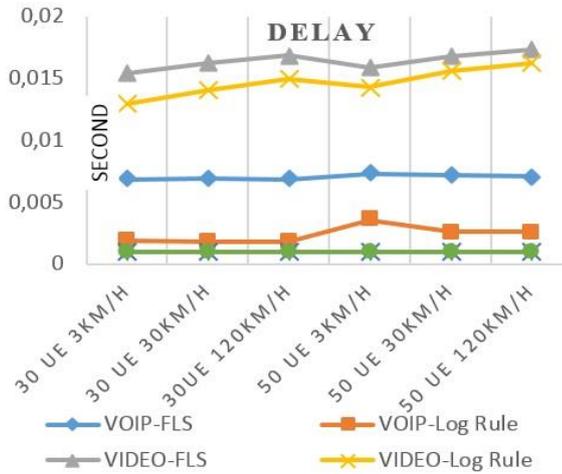
Pada gambar 9 secara umum menunjukkan hasil perbandingan nilai *fairness index* untuk layanan *real time* (*voip* dan *video*) serta *non real time* (*best effort*) menggunakan algoritma penjadwalan *Log Rule* dan FLS. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kedua algoritma seiring bertambahnya jumlah *user fairness index* yang dihasilkan pun akan semakin menurun. Penurunan keadilan pengalokasian sumber daya bagi *user* ini disebabkan paket yang berhasil dikirim rendah dan kepadatan trafik.

Namun kedua algoritma tersebut masih jauh dari tingkat standar FI yang ditetapkan ITU-T yaitu 1. Secara keseluruhan algoritma FLS masih memberikan nilai *fairness index* yang lebih tinggi dibandingkan *log rule* dikarenakan nilai PLR pada setiap layanan *real time* atau *non real time* yang lebih rendah.

4.2. Analisis skenario perubahan kecepatan user

Pada bagian ini disajikan analisis hasil simulasi *scenario* perubahan kecepatan *user* menggunakan model *Jacks Channel* sesuai standar kecepatan *pedestrian* dan *vehicle* yang

di standarkan oleh ITU-T^[7], dimana simulasi dilakukan pada 3, 30, dan 120 km/jam dengan user sebesar 30, 50 dan tersebar di 7 sel dengan radius masing-masing sel sebesar 1 km.

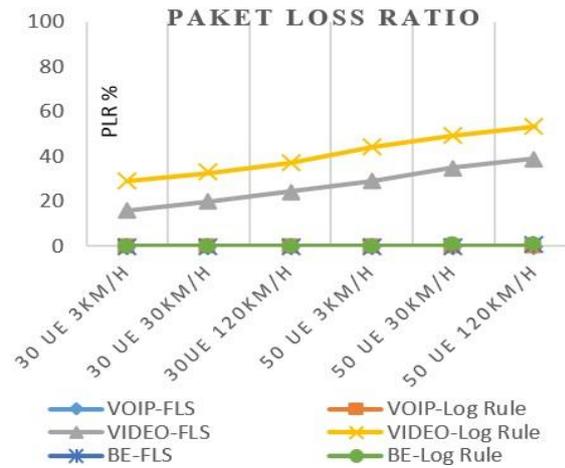


Gambar 10. Delay skenario perubahan kecepatan user pada tiap layanan

Pada gambar 10 secara umum dari dua layanan *real time* yang disimulasikan yaitu *voip* dan *video*, semakin bertambah kecepatan user yang ditangani, semakin besar pula nilai delay yang dihasilkan dikarenakan layanan yang dibangkitkan bersamaan dalam satu kanal. Hal ini juga dipengaruhi oleh prioritas pada setiap layanan, dimana untuk prioritas dalam metode penjadwalan pada urutan pertama adalah *voip*, kedua *video*, dan ketiga *best effort* dalam simulasi ini. Untuk layanan BE merupakan layanan delay tolerant, dikarenakan karakteristik BE yaitu data dan paket yang dikirimkan harus selalu ada maka aliran layanan tersebut pada simulasi ini di menggunakan model *infinite buffer*^[7], yang mana paket terakhir di transmisikan 1ms sehingga delay tidak dapat melebihi nilai tersebut^[7].

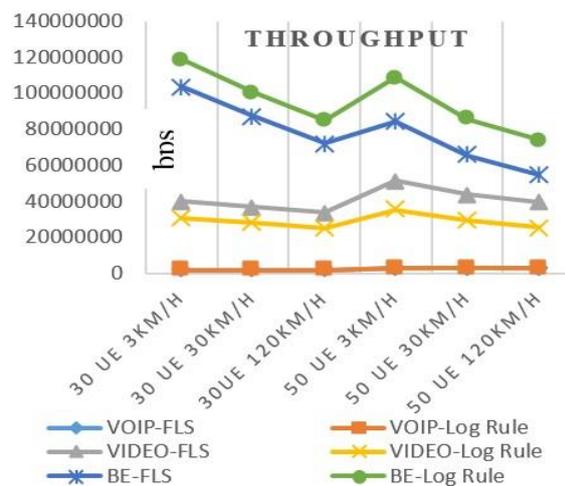
Pada gambar 11 secara umum dari dua layanan *real time* yang disimulasikan yaitu *voip* dan *video*, semakin bertambah kecepatan user yang ditangani, semakin besar pula nilai PLR yang dihasilkan, begitu juga pun untuk layanan *non real time* BE. Besarnya PLR terjadi akibat beban trafik jaringan meningkat serta sumber daya yang kurang memadai dan algoritma ini hanya memperhitungkan kualitas kanal tanpa memperhatikan batasan kualitas layanan sehingga ketika kualitas kanal menurun,

performansi pun ikut menurun serta efek *Doppler* dan *pathloss* yang mengganggu pembentukan *channel* antar terminal user dengan eNodeB.



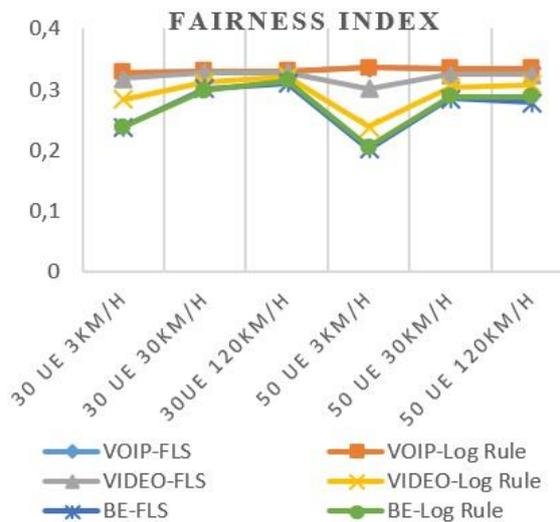
Gambar 11. PLR skenario perubahan kecepatan user pada tiap layanan

Pada gambar 12 secara umum dari dua layanan *real time* yang disimulasikan yaitu *voip* dan *video*, semakin bertambah kecepatan user yang ditangani, semakin menurun nilai *throughput* yang dihasilkan, begitupun juga untuk layanan *non real time* seperti BE.



Gambar 12 Throughput skenario perubahan kecepatan user pada tiap layanan

Nilai *throughput* di pengaruhi oleh *available bandwidth* serta layanan yang dibangkitkan bersamaan mempengaruhi kondisi kanal.



Gambar 13. Fairness Index skenario perubahan kecepatan user pada tiap layanan

Pada gambar 13 secara umum menunjukkan hasil perbandingan nilai *fairness index* untuk layanan *real time voip*, *video* dan *non real time best effort* menggunakan algoritma penjadwalan *Log Rule* dan *FLS*. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kedua algoritma seiring bertambahnya kecepatan user FI yang dihasilkan pun semakin bertambah. Berbeda dengan ketika user bertambah FI yang di alami terus menurun.

Kenaikan keadilan pengalokasian sumber daya bagi user dengan kecepatan 30 km/jam ini disebabkan paket yang berhasil dikirim lebih tinggi dan kepadatan trafik *voip* rendah karena kondisi kanal yang baik dan rendahnya aktifitas. Sedangkan penurunan yang tidak terlalu signifikan ketika kecepatan 120 km/jam disebabkan *mobilitas random direction* yang di alami user. Hal itu dimanfaatkan sebaik - sebaiknya pada penjadwalan *log rule* yang salah satu karakteristiknya memperhatikan kondisi kanal sehingga memiliki nilai *fairness* lebih tinggi dibandingkan *FLS*. Namun kedua algoritma ini masih dibawah batas standar ITU-T yang ditentukan untuk FI yaitu 1.

5. KESIMPULAN

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

1. Masing-masing algoritma *scheduling* memiliki sifat yang berbeda-beda. Terlihat dari beragamnya hasil parameter uji QoS yang didapat kan seperti *delay*, *packet loss ratio*, *throughput*, dan *fairness index*.
2. Algoritma *log rule* bertujuan untuk meminimalkan *delay*, itu terbukti meski jumlah user bertambah ataupun kecepatan user berubah algoritma *log rule* mampu meminimalkan *delay* dari kedua layanan *real time* seperti *voip* dan *video*.
3. Algoritma *FLS* yang hanya memenuhi batas *delay* dan memaksimalkan *throughput*, itu terbukti pada hasil simulasi algoritma *FLS* mampu meningkatkan nilai *throughput* pada layanan *real time* dibandingkan *log rule*.
4. Pada skenario penambahan jumlah user untuk layanan *real time voip* dan *video* penggunaan algoritma *FLS* lebih cocok didasarkan atas nilai *PLR* yang rendah, *throughput* yang tinggi, dan tingkat keadilan yang merata untuk setiap layanan.
5. Pada skenario penambahan kecepatan user untuk layanan *real time voip* dan *video* kedua algoritma sama-sama memberikan performansi yang kurang optimal karena tingginya *delay* dan *PLR* serta turunya *throughput*. Akan tetapi dalam skenario ini algoritma *FLS* masih lebih cocok dibandingkan *log rule*.
6. Untuk layanan *non real time* seperti *BE* pada jumlah user bertambah ataupun kecepatan user berubah penerapan kedua penjadwalan *log rule* dan *FLS* kurang cocok. Karena kedua algoritma ini memprioritaskan layanan *real time* seperti *voip* dan *video*.
7. Pada kondisi tertentu penerapan kedua algoritma *log rule* dan *FLS* dapat masih digunakan hanya saja untuk layanan *realtime voip* dan *video* tergantung tujuan yang ingin dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stefano, R. (2014). Analisis Perbandingan Kinerja Algoritma Penjadwalan EXP/PF, PF dan FLS Kasus Single Cell pada Jaringan LTE. Repository
- [2] Amatullah, S. K. (2012). Analisis Perbandingan Algoritma Penjadwalan PF dan MLWDF Pada Kasus Multicell Jaringan Long Term Evolution.

- [3] Setyawan, A. B. (2012). Analisis Performansi Algoritma Penjadwalan: Log Rule dan Exponential Rule pada Jaringan LTE.
- [4] Sari, E. P. (2011). Analisis performansi penjadwalan paket pada jaringan lte (long term evolution) arah downlink untuk mendukung layanan triple play.
- [5] Piro,G,A.B. (2010). Two - level downlink scheduling for real time multimedia services in LTE networks. IEEE TRANS. VEH. TECHNO. Vol. 13, No. 5.
- [6] 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
- [7] Piro,G, A. B. (2010). Simulating LTE Cellular System : an Open Source SFrameworkl. IEEE TRANS. VEH. TECHNOL.
- [8] Biswapratapsingh Sahoo. 2013. Performance Comparison of Packet Scheduling Algorithms for Video Traffic in LTE Cellular Network. International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT) Vol. 3, No.3, June 2013
- [9] *Chapter Bab II.* (s.f.). Diambil dari: http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0CD0QFjAG&url=http%3A%2F%2Frepository.usu.ac.id%2Fbitstream%2F123456789%2F29936%2F4%2FChapter%2520II.pdf&ei=ygZaVND6NYyOuASHr oHgAQ&usg=AFQjCNGGV-hf1GwlSmHloiLP_BIsI-7iZQ&cad=rja.
- [10] Giuseppe, PiroLTE. LTE Simulator. Diambil dari: www.telematics.poliba.it/index.php/en/lt-e-sim (2011).
- [11] Prasanna, G. R. (2012). Voice Over LTE.
- [12] Suryaman, B. (2010). Perbandingan Performansi Algoritma Penjadwalan Round Robin, Maximum C/I dan Proportional Fair dengan Menggunakan HARQ pada Sistem 3GPP LTE.

Indrarini Dyah Irawati, ST., MT. Dosen D3 Teknik Telekomunikasi Fakultas Ilmu Terapan Universitas Telkom. Sebagai dosen di Universitas Telkom, saat ini aktif melakukan riset dan publikasi mengenai wireless sensor network, software define network serta compressive sensing.

Ridha Muldina Negara, ST., MT. Dosen S1 Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom. Sebagai dosen di Universitas Telkom saat ini aktif di Kelompok Keahlian Jaringan Multimedia, saat ini aktif melakukan riset dan publikasi mengenai VANET, software define network serta standar IEEE 802.11 ah.

Biodata Penulis

Ridwan, lahir di Jakarta tanggal 24 Agustus 1993, mahasiswa Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom.