

## Perbandingan dan Pengaruh *Handover* Terhadap Kinerja Penjadwalan Paket *Round Robin* dan *Proportional Fair* Pada Jaringan LTE

Chandra Yogi Adhitama<sup>1</sup>, Primantara Hari Trisnawan<sup>2</sup>, Reza Andria Siregar<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>cadhitama91@gmail.com, <sup>2</sup>prima@ub.ac.id, <sup>3</sup>reza@ub.ac.id

### Abstrak

Jaringan *Long Term Evolution* (LTE) merupakan jaringan yang sudah banyak penggunanya untuk mendapatkan informasi. Karena banyaknya pengguna mobile pada jaringan ini maka diperlukan sebuah algoritme penjadwalan paket untuk menjadwalkan paket-paket yang digunakan untuk para pengguna bisa saling berkomunikasi pada tempat yang berubah-ubah. Pada penelitian ini meneliti dari kinerja algoritme penjadwalan paket *Round Robin* dan *Proportional Fair* serta pengaruh dari *handover* terhadap keduanya. Penelitian ini dilaksanakan dengan menyimulasikan jaringan LTE pada simulator NS-3 dan menghasilkan data-data yang diolah kembali sehingga terbentuk nilai untuk mengukur kinerja dari algoritme penjadwalan paket seperti *throughput*, *packet loss ratio*, *delay*, dan *jitter*. Data-data tersebut dianalisa dengan cara membandingkannya dari hasil penjadwalan menggunakan algoritme *Round Robin* dan *Proportional Fair*.

**Kata kunci:** penjadwalan paket, *Round Robin*, *Proportional Fair*, *handover*, LTE

### Abstract

*Long Term Evolution (LTE) is a network that has many users using it to get information. Because mobile users are currently on this network, a packet scheduling algorithm is needed to schedule packages for ubiquitous communication. This research will discuss the performance of the packet scheduler Round Robin and the Proportional Fair and the effect of the handover on that packet schedulers. This research was conducted by simulating an LTE network in the NS-3 simulator and produce data that is reprocessed so that a value is formed to measure the performance of the packet scheduling algorithm such as throughput, packet loss ratio, delay, and jitter. These data will be analyze by comparing them from the results of the Round Robin scheduling algorithm and the Proportional Fair scheduling algorithm.*

**Keywords:** packet scheduler, *Round Robin*, *Proportional Fair*, *handover*, LTE

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akses data yang semakin meningkat berdampak pada teknologi untuk terus beradaptasi dan berkembang. Pada saat ini teknologi telekomunikasi yang sudah sering digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah teknologi *Long Term Evolution*. Jaringan *Long Term Evolution* (LTE) atau jaringan pada generasi 4G ini merupakan jaringan telekomunikasi yang menggunakan gelombang radio untuk bertukar data kepada penggunanya, jaringan ini dapat dinilai berkecepatan tinggi karena kecepatan *downlink* pada jaringan LTE ini dapat mencapai 100 Mbps, *uplink* mencapai 50 Mbps dengan *bandwidth* 1.4 MHz-20 Mhz (Panjaitan, 2015).

Kebutuhan informasi yang ingin di dapatkan dengan cepat juga mempengaruhi banyaknya pengguna *mobile phone* dikarenakan dengan *mobile phone* penggunanya dapat mengakses kebutuhan informasi dimana saja dan kapan saja. Penggunaan *mobile phone* dapat mempermudah penggunanya mendapatkan informasi saat dalam keadaan aktif bergerak seperti saat berjalan ataupun saat berkendara. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya perpindahan hubungan antara pengguna atau dapat disebut sebagai *user equipment* (UE) dengan *Base Transceiver Station* pemancar sinyal atau pada jaringan LTE dikenal dengan nama Evolved UTRAN Node B (eNB). Perpindahan tersebut menyebabkan adanya prosedur serah terima hubungan UE oleh eNB

yang bisa disebut dengan *handover* dikarenakan ruang lingkup dari setiap eNB yang terbatas.

Penanganan setiap eNB terhadap keluar masuknya, ataupun terhubung terputusnya pengguna atau UE inilah yang menjadi pokok permasalahan bagaimana *resource* di alokasikan ke setiap UE. Pengalokasian *resource* ini membutuhkan algoritme penjadwalan paket yang dapat membagikan secara adil dan tidak menyia-nyaiakan *resource* yang ada.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan algoritme *Round Robin* dan algoritme *Proportional Fair* sebagai algoritme penjadwalan paket dan meneliti pengaruh *handover* terhadap kinerja penjadwalan paket tersebut pada jaringan LTE. Penelitian yang akan dilakukan dengan jumlah eNB berjumlah 3 buah sehingga UE dapat bergerak bebas dan mendukung terjadinya *handover* pada penelitian. Penelitian dilakukan dengan menyimulasikan jaringan LTE dan menerapkan algoritma penjadwalan paket kedalam simulasi pada simulator NS-3 dengan skenario-skenario yang mendukung. Penelitian ini dilakukan untuk menjadi pertimbangan dalam pemilihan algoritme penjadwalan paket ataupun dapat menjadi evaluasi algoritme penjadwalan paket dalam pengembangannya dimasa depan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 LTE

*Long Term Evolution* (LTE) merupakan teknologi jaringan telekomunikasi yang memiliki kecepatan tinggi dengan standar yang telah diterapkan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) sebagai penerus teknologi jaringan seluler 3G. Jaringan LTE menggunakan kombinasi pembagian frekuensi *multiplexing* dan pembagian waktu *multiplexing* pada *downstream channel* yang biasa dikenal sebagai *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Setiap node seluler yang aktif pada jaringan LTE dialokasikan satu atau lebih slot waktu 0,5 ms dalam satu atau lebih frekuensi saluran. Dengan pengalokasian lebih banyak slot waktu ini sebuah node seluler akan dapat mencapai tingkat transmisi yang semakin tinggi. Pengalokasian antar node seluler dapat dilakukan dengan sering pada setiap milidetik. Dengan skema modulasi yang berbeda juga dapat digunakan untuk mengubah *transmission rate*. Kecepatan data maksimum untuk pengguna jaringan LTE mencapai 100Mbps pada arah downstream dan 50 Mbps pada arah upstream

ketika menggunakan spektrum nirkabel sebesar 20 MHz.

### 2.2 EPC

*Evolved packet core* atau EPC adalah sebuah sistem arsitektur komunikasi seluler dengan jaringan all-IP pada bagian *core network*. Jaringan all-IP yang digunakan memungkinkan jaringan LTE dapat berkomunikasi atau terhubung ke jaringan lain yang berbeda-beda. Dengan demikian semua pemrosesan paket IP dikelola pada EPC. Hal ini dapat mempercepat waktu respon pada penjadwalan ataupun retransmission dan juga dapat meningkatkan *latency* maupun *throughput* (Kurose & Ross, 2012).

Tugas utama dari EPC adalah untuk mengelola sumber daya jaringan sehingga dapat menyediakan layanan dengan kualitas tinggi kepada pengguna yang terhubung pada jaringan LTE. Dalam penyediaan layanan tersebut EPC dibagi menjadi beberapa bagian yang memiliki tugas yang berbeda-beda untuk menunjang kualitas layanan. Bagian-bagian tersebut antara lain adalah *Serving Gateway* (SGW), *Packet Data Network Gateway* (PGW), dan *Mobility Management Entity* (MME).

SGW merupakan *interface* dari EPC yang menghubungkannya kepada eNodeB (eNB). SGW berfungsi sebagai *local Mobility Anchor point* yang menangani permasalahan *handover* UE pada eNB dan mengumpulkan informasi serta statistik yang diperlukan dalam proses charging. SGW juga memiliki tanggung jawab untuk mereplika lalu lintas pengguna jika terjadi gangguan atau error. Berbeda dengan SGW, PGW merupakan *interface* yang menghubungkan antara jaringan LTE dengan jaringan lain yang bukan termasuk jaringan LTE. PGW juga bertanggung jawab dalam kontrol kebijakan didalam pengalokasian IP prefix. Sedangkan MME merupakan *control-plane* pada EPC yang bertanggung jawab pada penghubungan atau pelepasan bearers pada terminal, penanganan posisi status idle menuju transisi aktif, serta penanganan security keys.

### 2.3 Round Robin

Penjadwalan *Round Robin* (RR) merupakan algoritme yang penjadwalannya dilakukan secara bergiliran berdasarkan antrean. Proses yang telah dieksekusi processor namun belum selesai dikarenakan waktu yang diberikan untuk memproses aket telah habis akan dikembalikan

ke antrean terakhir yang ada pada saat itu sehingga penggiliran untuk eksekusi tersebut berputar hingga seluruh paket dalam antrean selesai di proses.

Secara spesifik penjadwalan *Round Robin* dapat dimodelkan secara matematis seperti persamaan (1).

$$user_j = \text{mod}((k - 1), N) + 1 \quad (1)$$

User<sub>j</sub> akan dijadwalkan pada TTI (Transmission Time Interval) ke-k jika urutan pengguna sama dengan nilai dari sisa hasil dari pembagian antara k - 1 dan banyaknya jumlah pengguna yang aktif dan ada dalam antrean penjadwalan dan ditambahkan 1 untuk memulai indeks awal penjadwalan dari urutan 1 (bukan 0). Dari persamaan tersebut terlihat bahwa teknik ini independen terhadap kondisi propagasi maupun karakteristik kanal, sehingga tidak menganggap adanya keragaman kondisi multi-user (Suryaman, et al., 2010).

**2.4 Proportional Fair**

*Proportional Fair* (PF) adalah algoritme penjadwaan paket yang bertujuan memaksimalkan *throughput cell* sekaligus meningkatkan nilai fairness. Algoritme ini merupakan algoritme yang umum digunakan pada sistem multi-user dengan Time frequency yang awalnya diimplementasikan dalam sistem Time Domain Scheduling (TDS) dan diadopsi ke LTE untuk mengeksploitasi kemampuan OFDMA dalam sistem TDS dan Frequency Time Scheduling (FDS). Penggabungan sistem TDS dan FDS ini memiliki tujuan untuk mencapai trade-off yang baik antara *throughput* sistem secara keseluruhan dan tingkat keadilan data diantara pengguna dengan mengeksploitasi keanekaragaman multi-user.

Algoritme penjadwalan *Proportional Fair* dapat di modelkan secara matematis menjadi persamaan (2).

$$user(j) = \max \frac{rate(j)}{(\overline{rate})} \quad (2)$$

Penjadwalan ini memilih user<sub>j</sub> untuk dijadwalkan berdasarkan rasio antara transfer rate user<sub>j</sub> terhadap nilai rata-rata transfer rate, bagi user yang sedang aktif rasio ini yang kemudian didefinisikan sebagai preference metric. Pada kasus khusus seperti jika terdapat user yang memiliki nilai preference metric yang

sama maka penjadwalan akan menggunakan algoritme *Round Robin*.

**2.5 Handover**

*Handover* terjadi karena kualitas sinyal atau daya sinyal turun. Penurunan level sinyal ini dideteksi dari pengukuran yang dilakukan UE ataupun eNB. Dengan demikian *Handover* ditujukan ke *cell* dengan sinyal lebih besar. Selain itu, *Handover* dapat terjadi apabila traffic dari sel yang dituju sudah penuh. Saat UE melewati *cell*, dialihkan ke ‘neighbouring cell’ dengan beban traffic yang lebih dua kecil. Terdapat pengukuran yang mempengaruhi terjadinya *Handover* yaitu, *Reference Signal Received Power* (RSRP) dan *Reference Signal Received Quality* (RSRQ) (Afroz, 2015).

Terdapat tiga fase pada prosedur *handover* pada *interface S1* maupun *X2* yaitu fase persiapan, fase eksekusi, dan fase penyelesaian. Pada fase persiapan, UE harus mengirimkan informasi pengukuran secara berkala kepada eNB. Dari informasi yang telah diberikan UE tersebut eNB akan memutuskan atau menentukan eNB tempat UE akan diserahkan. Selain informasi pengukuran tersebut terdapat kriteria lain yang menjadi pertimbangan sebelum akhirnya eNB mengirimkan pesan kontrol ke eNB yang akan dituju untuk mempersiapkan terjadinya *Handover*. Fase persiapan terjadi setelah eNB tujuan menerima pesan kontrol tersebut. Selanjutnya eNB tujuan akan mempersiapkan buffer kepada UE yang akan berhubungan. Dan setelah fase persiapan telah selesai, pesan kontrol perintah untuk melakukan *handover* dikirimkan dari eNB ke UE untuk memberitahukan bahwa UE tersebut sedang dialihkan atau diserahkan ke eNB tujuan. Kemudian UE akan memutuskan hubungan dari eNB sumber dan meminta kepada eNB tujuan untuk berhubungan. Disaat yang sama eNB sumber meneruskan semua paket UE kepada eNB tujuan. Paket-paket ini akan dimasukkan pada antrean oleh eNB tujuan kedalam buffer yang telah dipersiapkan sebelumnya. Setelah UE berhasil terhubung dengan eNB tujuan, eNB tersebut akan mengirimkan semua paket buffer UE yang diikuti peket-paket lain yang masuk dari *gateway* eNB tersebut. Setelah semua prosedur *handover* telah selesai maka selanjutnya fase penyelesaian dimuali. Fase ini berlangsung dengan UE mengirimkan pesan yang menunjukkan bahwa proses *handover* telah berhasil dan selesai kepada eNB tujuan yang telah terhubung.

**2.5.1 RSRP**

RSRP merupakan salah satu jenis dari algoritme *handover* dengan metrik yang mempertimbangkan kekuatan sinyal dari sel yang digunakan sebagai masukan dari *cell resection* dan keputusan untuk melakukan *handover*. RSRP didefinisikan sebagai rata-rata daya (dalam watt) dari Elemen sumber daya yang membawa sinyal referensi sel spesifik pada *bandwidth* (Afroz, et al., 2015).

Ukuran RSRP dinyatakan dalam satuan *decibel-milliwatts* (dBm) dan digunakan untuk membuat peringkat diantara kandidat-kandidat sel sesuai kekuatan dari sinyanya yang dipancarkan.

**2.5.2 RSRQ**

Pengukuran pada RSRQ menggunakan metrik yang mempertimbangkan kualitas dari sinyal pada sel tertentu. Proses pengambilan keputusan *handover* pada RSRQ mirip dengan RSRP yaitu membuat peringkat atau membandingkan antar kandidat-kandidat sel namun sesuai kualitas dari sinyal yang di berikan sel tersebut. Pengukuran RSRQ dapat didefinisikan dengan persamaan (3).

$$RSRQ = \frac{(N.RSRP)}{(LTE\ carrier\ RSSI)} \quad (3)$$

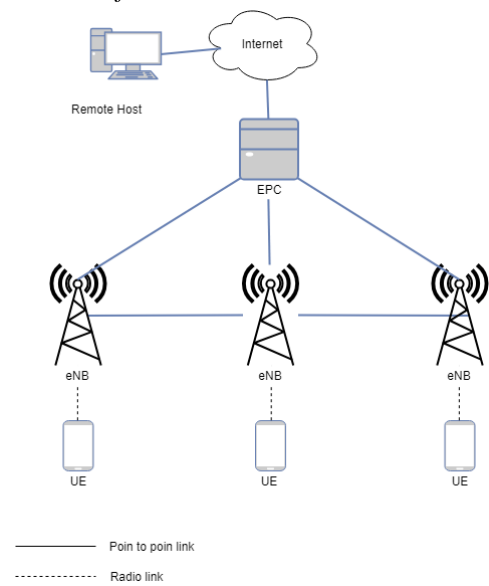
Dari persamaan tersebut dapat diartikan bahwa RSRQ merupakan rasio RSRP dalam Received Signal Strength Indicator (RSSI) dimana N adalah jumlah Resource Block dari pengukuran *bandwidth* pada RSSI dalam LTE. RSSI dinyatakan sebagai rata-rata linier dari total daya yang diterima dan yang diamati hanya tanda-tanda OFDM yang membawa tanda referensi UE dari berbagai sumber, termasuk saluran pada *-serving* ataupun *non-serving cell*, gangguan saluran yang berdekatan, dan gangguan termal dalam pengukuran *bandwidth* lebih dari N Resource Block (Sesia, et al., 2011).

**3 PERANCANGAN**

**4.1 Perancangan Topologi**

Model topologi jaringan yang akan dibuat diilustrasikan pada Gambar 1. Topologi pada penelitian ini dibuat dari adaptasi arsitektur LTE pada simulator NS-3. UE terhubung kepada eNB melalui sinyal radio yang dipancarkan melalui antena-antena UE maupun eNB. Pada topologi yang dibangun, EPC terhubung ke semua eNB melalui *interface* S1. Sedangkan masing-masing eNB terhubung ke eNB tetangga terdekatnya

melalui *interface* X2.



Gambar 1 Topologi jaringan

**4.2 Perancangan Pengujian**

Skenario yang digunakan dalam penelitian ini digolongkan menjadi 2 yaitu;

- Simulasi dengan menggunakan *handover*
- Simulasi dengan tidak menggunakan *handover*

Setiap simulasi dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter pengujian pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Parameter Penelitian

Parameter	Nilai
Durasi Simulasi	600 detik
Algoritme <i>Handover</i>	RSRQ
Algoritme Penjadwalan Paket	Round Robin dan Proportional Fair
SRS periodicity	40 ms
Ruang Gerak UE	1500 m x 500 m
Jumlah UE	1 sampai 19 UE per eNB
Jenis pergerakan UE	Random Walk
Kecepatan UE	10 mps
Antena UE	Isotropic
Jumlah eNB	3
Jarak eNB	500 m
Kekuatan sinyal eNB	46 Dbm
Antena eNB	Isotropic
Jenis Traffic	CBR

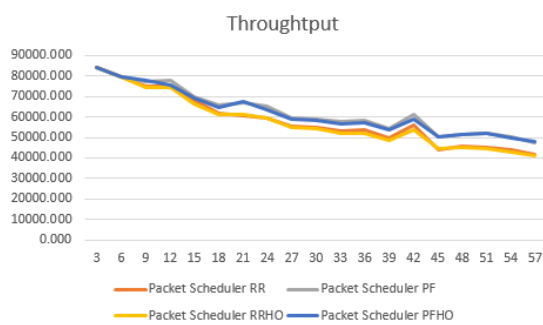
Pada simulasi menggunakan prosedur *handover*, ruang gerak UE menggunakan luas 1500 m x 500 m yang didalamnya terdapat 3 eNB sehingga UE dapat bergerak pindah dari eNB satu ke eNB lainnya. Sedangkan pada simulasi dengan tidak menggunakan prosedur *handover*, ruang gerak UE menggunakan luas 500 m x 500 m pada setiap kelompok UE di setiap eNB. Hal ini dimaksudkan agar UE tidak



dapat berpindah tempat atau tidak dapat melakukan prosedur *handover* pada simulasi.

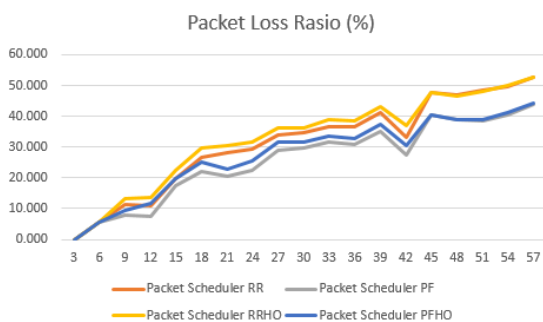
#### 4 ANALISIS HASIL

Pada hasil *throughput* tanpa adanya *handover*, algoritme *Round Robin* mengalami penurunan dengan rata-rata 3,58% sedangkan algoritme *Proportional Fair* mengalami penurunan dengan rata-rata sebesar 2,97%. Pada hasil *throughput* dengan adanya *handover* pada simulasi, algoritme *Round Robin* mengalami penurunan dengan rata-rata sebesar 3,73% sedangkan algoritme *Proportional Fair* mengalami penurunan dengan rata-rata 2,92%.



Gambar 2 Grafik hasil *throughput*

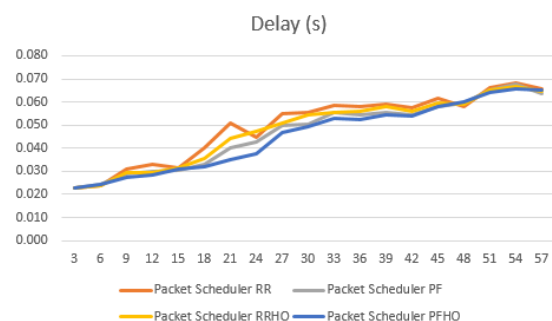
Hasil pengujian terhadap *packet loss ratio* tersebut dapat dilihat bahwa persentase paket yang gagal terkirim meningkat di setiap penambahan UE pada setiap eNB dan peningkatan tersebut terjadi pada semua algoritme penjadwalan yang digunakan. Namun algoritme penjadwalan paket *Round Robin* memiliki persentase yang lebih besar daripada algoritme penjadwalan paket *Proportional Fair*. Dapat disimpulkan bahwa algoritme *Proportional Fair* dapat menangani *packet loss* lebih baik dibandingkan penggunaan algoritme penjadwalan paket *Round Robin*.



Gambar 3 Grafik hasil *packet loss ratio*

Untuk perbandingan algoritme penjadwalan paket dapat disimpulkan bahwa untuk pelayanan user yang banyak algoritme penjadwalan paket *Proportional Fair* lebih baik dibandingkan algoritme *Round Robin* pada sisi *throughput* dan paket loss ratio dikarenakan pada algoritme *Proportional Fair* terdapat pertimbangan untuk mendahulukan paket-paket dengan nilai *throughput* yang rendah sehingga keberhasilan pengalokasian sumber daya *bandwidth* lebih maksimal. Sedangkan algoritme *Round Robin* mendapatkan nilai *throughput* lebih kecil dan packet loss ratio lebih besar karena pada penjadwalannya algoritma ini hanya memberikan time quantum yang membatasi waktu pengiriman sehingga jika paket yang dikirimkan belum terkirim seluruhnya sedangkan waktu sudah habis maka paket tersebut akan dibuang.

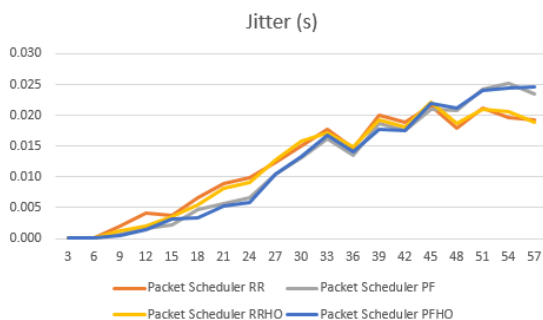
Hasil pengujian *delay* dapat dilihat bahwa waktu yang *delay* cenderung meningkat dan berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah UE pada setiap eNB. Dalam penanganan *delay*, kedua algoritme penjadwalan paket memiliki hasil yang tidak jauh berbeda dan algoritme penjadwalan paket *proportional* lebih unggul dengan hanya memiliki selisih rata-rata 0,003 detik dibandingkan hasil rata-rata yang dihasilkan oleh algoritme penjadwaan paket *Round Robin*. *Delay* pada algoritme *Proportional Fair* dapat mendapatkan nilai yang lebih baik karena pada penjadwalannya paket-paket diurutkan berdasarkan pertimbangan nilai CQI, sehingga paket-paket dikirimkan melalui kualitas saluran yang baik dan mempercepat pengiriman paket untuk sampai ke tujuan.



Gambar 4 Grafik hasil *end-to-end delay*

Sedangkan pada hasil pengujian *jitter* didapatkan bahwa algoritme penjadwalan paket *Round Robin* lebih unggul ketika UE yang digunakan banyak. Hal ini dikarenakan dalam penjadwalan paket, algoritma *Round Robin*

menganggap semua paket itu sama sehingga semua paket diberikan time quantum atau waktu pemrosesan yang sama, dengan demikian variasi waktu *delay* yang diukur sebagai *Jitter* akan cenderung stabil atau tidak berubah terlalu signifikan pada jumlah UE yang banyak. Sedangkan algoritme penjadwalan *Proportional Fair* mendapatkan hasil yang bagus pada *jitter* pada saat jumlah UE yang sedikit.



Gambar 5 Grafik hasil jitter

*Handover* yang terjadi ketika simulasi berjalan tidak berpengaruh besar dalam kinerja algoritme penjadwalan paket *Round Robin* maupun *Proportional Fair*. Pada hasil pengujian *throughput handover* hanya mengurangi kinerja dari algoritma penjadwalan paket *Round Robin* sebesar 0,15% dari skenario pegujian tanpa adanya *handover* sedangkan pada algoritme penjadwalan paket *Proportional Fair* selisih dari penurunan *throughput* hanya sebesar 0,05% dari skenario pengujian tanpa adanya *handover*. Pada hasil packet loss ratio *handover* hanya menambah persentase sekitar 1,5% pada algoritma penjadwalan paket *Round Robin* dan sekitar 1,6% pada algoritma penjadwalan paket *Proportional Fair*.

## 5 KESIMPULAN

Perbedaan antara algoritme penjadwalan paket *Round Robin* dan *Proportional Fair* terletak pada pertimbangan pada penentuan peringkat paket untuk diproses. Algoritme *Round Robin* memberikan *time quantum* yang sama pada setiap paket untuk diproses secara bergantian sedangkan algoritme *Proportional Fair* mempertimbangkan paket yang mempunyai CQI terbesar untuk diproses.

Pada pengujian *throughput*, packet loss ratio, dan *end-to-end delay* algoritme

penjadwalan paket *Proportional Fair* mendapatkan nilai *throughput* lebih tinggi, persentase paket loss ratio lebih rendah, dan mendapat nilai rata-rata *delay* 0.003 lebih cepat dibandingkan algoritme *Round Robin* sehingga algoritme *Proportional Fair* lebih baik dari algoritme *Round Robin* dalam penanganan *throughput*, packet loss ratio, dan *end-to-end delay*. Sedangkan pada pengujian *Jitter*, algoritme *Proportional Fair* memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan algoritme *Round Robin* pada saat UE berjumlah kurang dari 15 UE per eNB sedangkan algoritme *Round Robin* memiliki nilai yang lebih baik ketika UE berjumlah lebih dari 15 UE per eNB.

*Handover* memiliki pengaruh yang kecil terhadap kinerja dari algoritme penjadwalan paket *Round Robin* dan *Proportional Fair*.

## 6 DAFTAR PUSTAKA

- Afroz, F. et al., 2015. SINR, RSRP, RSSI and RSRQ Measurements in Long Term Evolution Networks. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN), pp. 113-123.
- Kurose, J. F. & Ross, K. W., 2012. Computer Networking: A Top-Down Approach (6th Edition). s.l.:Pearson.
- Panjaitan, A., 2015. Analisa Performansi Packet Scheduling Downlink Max-Throughput & Proportional Fair pada Layanan VoLTE. Jurnal Penelitian Informatika.
- Sesia, S., Toufik, I. & Baker, M., 2011. LTE—the UMTS Long Term Evolution : From Theory to Practice. 2nd ed. s.l.:Wiley.
- Suryaman, B., Irawati, I. D. & Mulyana, A., 2010. Perbandingan Performansi Algoritma Penjadwalan Round Robin, Maximum C/I, dan Proportional Fair dengan Menggunakan HARQ pada Sistem 3GPP LTE. Bandung, Institut Teknologi Telkom Bandung, pp. 7-14.