

# ANALISIS KEADILAN MODEL PENJADWALAN YANG DIINTEGRASIKAN DENGAN HARQ PADA SISTEM LTE

Danu Dwi Sanjoyo<sup>1</sup>, Rendy Munadi<sup>2</sup>, Ida Wahidah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[danudwj@telkomuniversity.ac.id](mailto:danudwj@telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[rendymunadi@telkomuniversity.ac.id](mailto:rendymunadi@telkomuniversity.ac.id),

<sup>3</sup>[wahidah@telkomuniversity.ac.id](mailto:wahidah@telkomuniversity.ac.id)

## Abstrak

Penjadwalan pada *Long Term Evolution* (LTE) memiliki peran dalam melayani kebutuhan *bandwidth* yang besar. Oleh karena itu, jaringan seluler LTE membutuhkan algoritma penjadwalan yang mampu mengakomodasi informasi keluaran dari proses HARQ untuk meningkatkan *fairness*. Algoritma penjadwalan dikombinasikan dengan proses HARQ untuk meningkatkan keadilan *throughput* yang diterima oleh pengguna. *Redundancy Version* (RV) yang diperoleh dari proses HARQ dikombinasikan dengan nilai prioritas layanan dan *Channel Quality Information* (CQI) menjadi suatu nilai metrik yang digunakan untuk menentukan prioritas paket pada proses penjadwalan. Algoritma penjadwalan diujikan pada makalah ini adalah *Round Robin* (RR), *Maximum C/I* (CI), dan *Proportional Fairness* (PF). Proses HARQ di penerima melakukan *Error Detection* (ED) dan *Forward Error Correction* (FEC) pada paket yang diterima. *User Equipment* (UE) akan mengirimkan *feedback* ke eNode-B yang berisi informasi apakah paket berhasil diterima dengan benar atau tidak. Integrasi masing-masing algoritma penjadwalan (RR, CI, dan PF) dengan nilai CQI, rangking paket data, dan RV dapat meningkatkan nilai *fairness* antarpengguna. *Jain's Fairness Index*, sebagai parameter keadilan, menunjukkan adanya peningkatan keadilan *throughput*.

**Kata kunci:** LTE, penjadwalan, HARQ, *Jain's Fairness Index*

## Abstract

Long Term Evolution (LTE) scheduling is responsible for achieving large bandwidth. Therefore, LTE cellular network needs scheduling algorithm that accommodates HARQ process output to improve the throughput fairness. The Redundancy Version (RV) obtained from HARQ process was integrated with the service priority value and Channel Quality Information (CQI) to get one metric value which was then used to decide the packet priority in scheduling process. Scheduling algorithm used in this research were Round Robin (RR), Maximum C/I (CI), and Proportional Fairness (PF). The HARQ process both Error Detection (ED) and Forward Error Correction (FEC) of the received packet at the receiver. The User Equipment (UE) sent feedback to the eNode-B containing information whether the packet was received correctly or not. The result of this study revealed that each scheduling algorithm (RR, CI, and PF) integrated with CQI, data packet rank, and RV value improved the fairness among users. Jain's Fairness Index as the fairness parameter, shows the improvement of throughput fairness.

**Keywords:** LTE, scheduling, HARQ, Jain's Fairness Index

## 1. Pendahuluan

Penjadwalan paket pada sistem LTE perlu ditingkatkan untuk memperbaiki QoS layanan yang bermacam-macam sesuai permintaan pengguna. Setiap layanan memerlukan *data rate* yang berbeda-beda, sehingga algoritma penjadwalan harus adaptif terhadap kebutuhan setiap layanan. *Throughput* terukur di *User Equipment* (UE) juga menjadi salah satu aspek yang harus menjadi pertimbangan dalam proses penjadwalan paket. Sistem LTE diharapkan mampu melayani kebutuhan lebih dari 200 pengguna untuk setiap sel pada frekuensi 5 MHz [1]. Setiap pengguna pun memanfaatkan lebih dari satu layanan sekaligus. Oleh karena itu, diperlukan penjadwalan yang mampu menjaga keadilan *throughput* untuk

setiap pengguna ketika mengakses lebih dari satu layanan.

Penelitian tentang penjadwalan yang adaptif telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan kondisi kanal sebagai salah satu parameter prioritasnya [8]. Proses penjadwalan pada penelitian tersebut memprioritaskan paket permintaan pengguna dengan derau rendah sehingga akan meningkatkan *throughput*. Penjadwalan yang adaptif terhadap kondisi kanal dapat meningkatkan *throughput* rata-rata, tetapi menurunkan keadilan antarpengguna karena alokasi *resource* lebih diprioritaskan untuk pengguna dengan kondisi kanal yang baik. Dengan demikian, keadilan *throughput* antarpengguna menjadi rendah, karena kondisi kanal yang buruk menyebabkan banyak paket rusak yang diterima

pengguna dan tidak mendapatkan kiriman ulang paket. Algoritma penjadwalan pada penelitian Dinesh Mannani tidak mengombinasikan penjadwalan dengan HARQ, sehingga penjadwalan tidak adaptif terhadap *throughput* di penerima.

Pada makalah ini, algoritma penjadwalan diintegrasikan dengan HARQ-*Chase Combining*. Algoritma penjadwalan menggunakan nilai *Redundancy Version* (RV) dan ACK/NACK, keluaran dari proses HARQ. RV merupakan nilai skalar yang menyatakan jumlah retransmisi setiap paket. NACK akan dikirim oleh UE jika paket gagal, sebaliknya jika benar, UE akan mengirimkan ACK. Kedua nilai itu menjadi salah satu parameter untuk mendapatkan nilai metrik prioritas pada algoritma penjadwalan. Dengan mempertimbangkan nilai RV dan ACK/NACK, sistem penjadwalan tersebut dapat meningkatkan keadilan *throughput* antarpengguna.

Pengintegrasian tiga algoritma penjadwalan (RR, CI, dan PF) dengan HARQ dapat meningkatkan keadilan *throughput* antarpengguna. Setiap algoritma memiliki karakteristik penjadwalan yang berbeda-beda. Dengan digabungkannya algoritma tersebut dengan HARQ, maka akan menghasilkan karakteristik penjadwalan baru berdasarkan hasil pengujian *throughput*. Dalam implementasinya, penggunaan algoritma penjadwalan terintegrasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem dan jaringan seluler LTE.

## 2. Tinjauan Teoritis

### 2.1. Algoritma Penjadwalan

Pada sistem LTE, 3GPP telah menentukan algoritma penjadwalan yang terstandar [4]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan tiga algoritma penjadwalan tersebut yang dikombinasikan dengan HARQ untuk mencapai kualitas yang diharapkan. Dalam penelitian ini ditetapkan tiga algoritma yang akan diuji, yaitu:

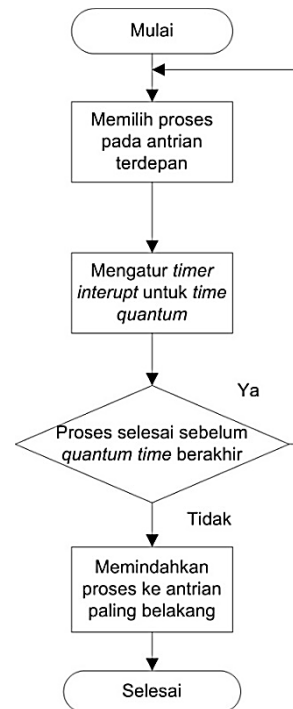
#### a. Round Robin (RR)

Pada prinsipnya algoritma RR mirip dengan FCFS (*First Come First Served*), yang bersifat *preemptive* [8]. Algoritma ini bekerja dengan menggilir proses antrian. Masing-masing proses memiliki jatah waktu sama yaitu sebesar *time quantum* ( $q$ ). Jika *time quantum* ini habis, maka server akan menangani proses selanjutnya. Jika terdapat  $n$  proses di antrian, maka setiap proses mendapatkan jatah waktu  $1/n$ , dan waktu tunggu maksimal  $(n-1)q$ . Performansi algoritma ini sepenuhnya bergantung dari nilai *quantum* yang telah diatur.

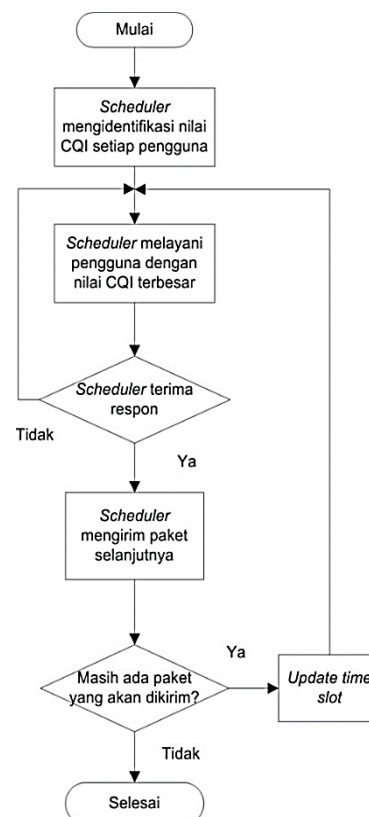
#### b. Maximum C/I (CI)

Penjadwalan maksimum C/I selalu memilih pengguna dengan nilai *Channel Quality Information* (CQI) yang maksimum [8]. Pada permulaan TTI,

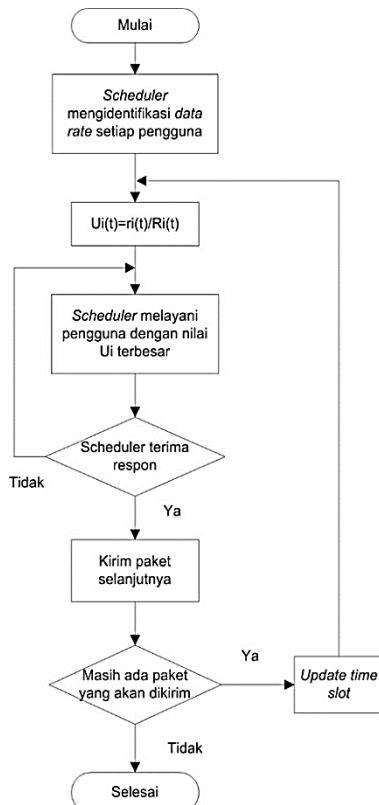
penjadwalan ini membandingkan nilai CQI dari tiap-tiap pengguna, kemudian memberikan kemampuan kepada pengguna dengan nilai CQI tertinggi untuk mengakses kanal. Dengan kata lain, teknik ini benar-benar memperhatikan kondisi propagasi dan karakteristik kanal dan mendukung adanya keragaman (*diversity*) *multi-user*.



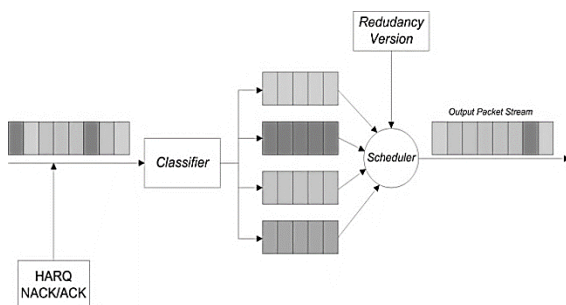
Gambar 1. Skema Algoritma Round Robin [8]



Gambar 2. Skema Algoritma Maximum C/I [8]



**Gambar 3. Skema Algoritma Proportional Fairness [8]**



**Gambar 4. Kombinasi Penjadwalan-HARQ [3]**

### c. Proportional Fairness (PF)

Tujuan utama skema penjadwalan PF adalah untuk meningkatkan *throughput* sistem dan juga *fairness* antara paket-paket data dalam antrian dengan pertimbangan tertentu. Pada pemrosesannya, penjadwalan ini diawali dengan proses klasifikasi paket berdasarkan prioritas[8]. Jika terdapat paket dengan prioritas sama, maka pemilihan paket mengikuti kaidah *Round Robin*.

## 2.2. Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)

*Hybrid Automatic Repeat Request* adalah mekanisme kombinasi pengodean *Forward Error-Correcting* (FEC) dan *Error Detection* (ED) menggunakan metode ARQ *Error-Control* [10]. Dalam standar ARQ, *redundant* bit disisipkan ke paket data yang dikirim menggunakan pengodean ED, yang pada penelitian ini menggunakan *Cyclic*

*Redundancy Check* (CRC). Pada HARQ, bit FEC (pada penelitian ini menggunakan *Tail Biting Convolutional Code* dengan *rate* 1/3) ditambahkan ke bit ED untuk memperbaiki subset kesalahan dengan mengandalkan ARQ untuk mendeteksi kesalahan yang belum terkoreksi. Oleh karena itu performansi HARQ dapat dikatakan lebih baik daripada ARQ biasa dalam hal perbaikan kesalahan bit untuk kondisi sinyal lemah. Akan tetapi untuk kondisi sinyal baik HARQ harus mengorbankan nilai *throughput* secara signifikan. Untuk itu diperlukan kondisi batas minimum digunakannya HARQ, sehingga menghasilkan hasil yang optimal.

## 2.3. Jain's Fairness Index

Teori yang dikemukakan oleh Rajendra K. Jain, Dah-Ming W. Chiu, dan William R. Hawed dalam "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Computer System" menghasilkan sebuah formula yang menyatakan kualitas keadilan suatu alokasi sumber daya. Metrik kuantitatif dari formula tersebut dikenal dengan *Jain's Fairness Index* (JFI) [7].

$$f(x) = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1)$$

## 3. Model Penelitian

### 3.1. Model Sistem

Parameter performansi yang akan diamati yaitu *throughput* dan *fairness*. Kedua parameter tersebut diukur dan dihitung pada tiga algoritma penjadwalan, yaitu *Round Robin* (RR), *Maximum C/I* (CI), dan *Proportional Fairness* (PF). Gambar 4 merupakan desain kombinasi antara algoritma penjadwalan dengan HARQ. Nilai RV dan pesan ACK/NACK dari proses HARQ digunakan sebagai masukan dalam menentukan prioritas penjadwalan paket yang akan dikirim [2].

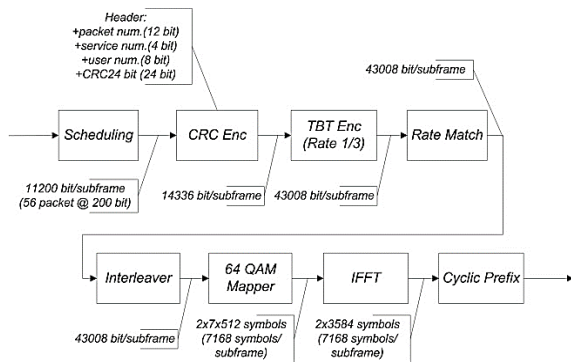
### 3.2. Model Paket Data Simulasi

Pada penelitian ini digunakan modulasi 64 QAM dan *Tail Biting Convolutional Code* dengan *rate* 1/3. Gambar 5 menunjukkan model paketisasi data dan penyusunan *bit stream* yang kemudian dikirimkan melalui kanal dengan *Rayleigh fading* dan derau AWGN.

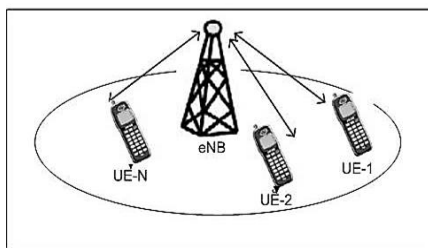
### 3.3. Model Simulasi

Pada penelitian ini dilakukan penerapan algoritma penjadwalan yang dikombinasikan dengan H-ARQ pada sistem *Long Term Evolution* (LTE) untuk meningkatkan *throughput* dan *fairness*.

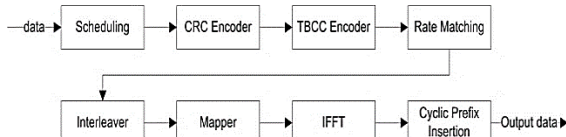
Gambar 6 merupakan topologi jaringan yang digunakan pada penelitian ini.



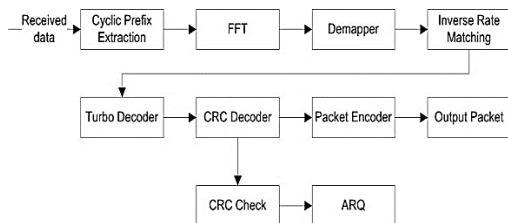
Gambar 5. Model Proses Penyusunan Paket [5]



Gambar 6. Topologi Jaringan Akses [6]



Gambar 7. Model Sistem Pengirim [5]



Gambar 8. Model Sistem Penerima [5]

Tabel 1. Parameter Simulasi [9]

Sistem	LTE
Bandwidth Kanal	5 MHz
Skema Transmisi	SISO
Algoritma Penjadwalan	Round Robin (RR), Maximum C/I (Max C/I), Proportional Fairness (PF)
HARQ	Chase Combining; Selective Repeat-Retransmission; maximum retransmission = 2
Jumlah Pengguna	3
Forward Error Correction	Tail Biting Convolutional Code (rate= 1/3)
Interleaver	Matrix Interleaver
Mapping	64-QAM
OFDMA	IFFT/FFT size=512 dan cyclic prefix 1/15 (per slot)
Kanal Propagasi	Rayleigh Fading 6-tap dan AWGN
Kecepatan Pengguna	60 km/jam
Simulasi	20 TTI (1 TTI = 1 subframe)
Frekuensi	2600 MHz
Spesifikasi Base Station	40 m (height), 2 km (coverage)
Tinggi UE	1 meter
mM:mRV	RR=3:1, CI=3:1, PF=4:1

Tahap-tahap pemodelan yang dilakukan meliputi pemodelan sistem antrian, pemodelan sistem penjadwalan dan H-ARQ pada layer *data link*, serta pemodelan algoritma *Chase Combining* pada penerima. Model tahapan simulasi yang terdapat di penerima dan pengirim terdapat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

### 3.4. Model Matematis Penjadwalan Terintegrasi

Dalam penelitian ini digunakan tiga algoritma penjadwalan, yaitu *Round Robin*, *Maximum C/I*, dan *Proportional Fairness* yang diintegrasikan dengan HARQ. Secara matematis, dilakukan penambahan variable HARQ pada ketiga model penjadwalan tersebut. Diperoleh model kombinasi keduanya, di mana terdapat variabel *mM* dan *mRV* sebagai nilai metrik rasio yang mempengaruhi prioritas penjadwalan paket yang akan dikirim. Nilai *mp* kemudian dilabelkan ke setiap paket dalam antrian menuju *packet scheduler*.

a. *Round Robin-HARQ*

$$mp = \frac{mM}{mM + mRV} (w_i (t - T_i)) + \frac{mRV}{mM + mRV} (RV) \quad (2)$$

b. *Maximum C/I-HARQ*

$$mp = \frac{mM}{mM + mRV} ((t - T_i) \cdot (w_i d_k^i(t))) + \frac{mRV}{mM + mRV} (RV) \quad (3)$$

c. *Proportional Fairness-HARQ*

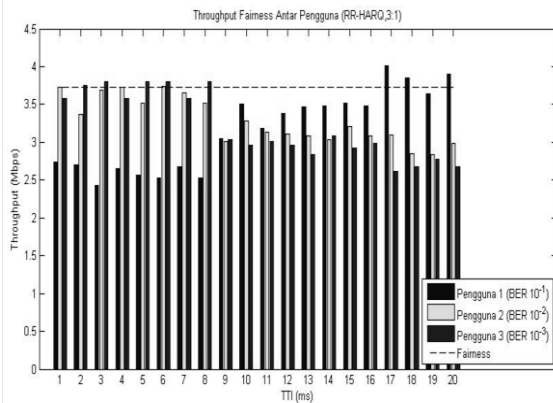
$$mp = \frac{mM}{mM + mRV} ((t - T_i) \cdot (w_i d_k^i(t) / \sqrt{R^l(t-1)})) + \frac{mRV}{mM + mRV} (RV) \quad (4)$$

## 4. Parameter Lengkap Simulasi

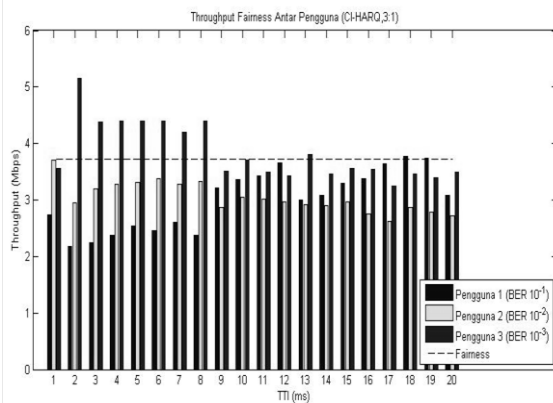
Analisis *throughput fairness* antarpengguna dilakukan setelah melakukan simulasi dengan skenario tiga pengguna. Masing-masing pengguna menggunakan empat macam layanan yang berbeda sekaligus, yaitu *voice conversation*, *web browsing*, *live video streaming*, dan *buffered video*. Ketiga pengguna diskenario berada pada kondisi dengan nilai SNR berbeda.

Model kanal sistem LTE arah *downlink* mengadopsi model kanal *Rayleigh*, skema transmisi SISO, dan asumsi pengguna bergerak dengan kecepatan 60 km/jam. Dari hasil simulasi kemudian dilakukan analisa mengenai perbaikan nilai *fairness*. Keluaran dari analisa adalah nilai *throughput* tiga algoritma penjadwalan (RR, Max C/I, dan PF) yang telah dikombinasikan dengan HARQ dengan rasio

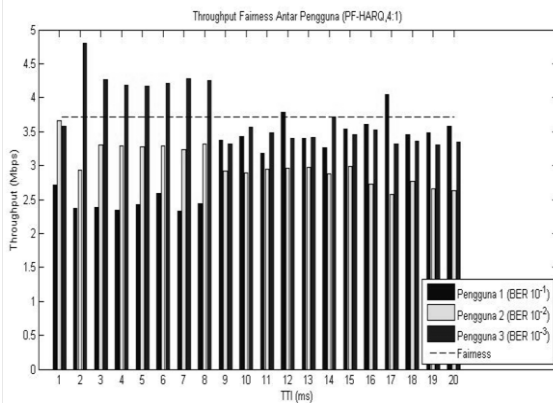
$mM : mRV$  yang telah ditentukan untuk setiap kombinasi. Parameter lengkap simulasi terdapat pada Tabel 1.



**Gambar 9. Grafik Throughput Antarpengguna Sistem LTE RR-HARQ**



**Gambar 10. Grafik Throughput Antarpengguna Sistem LTE CI-HARQ**



**Gambar 11. Grafik Throughput Antarpengguna Sistem LTE PF-HARQ**

**Tabel 2. Komparasi Fairness Antartetiga Kombinasi**

Kombinasi Sch-HARQ	Rataan Throughput (Mbps)				Jain's Fairness Index
	Pengguna-1 (BER=10 <sup>-1</sup> )	Pengguna-2 (BER=10 <sup>-2</sup> )	Pengguna-3 (BER=10 <sup>-3</sup> )	Total	
RR-HARQ	3,165	3,285	3,194	9,644	99,975%
CI-HARQ	3,008	3,045	3,850	9,903	98,632%
PF-HARQ	3,085	3,013	3,747	9,845	98,998%

## 5. Analisis Throughput Fairness Antarpengguna

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat keadilan antarpengguna dari kombinasi algoritma penjadwalan dan HARQ terintegrasi dengan skenario tiga pengguna terkoneksi dengan eNode-B. Dalam pengujian kali ini masing-masing pengguna mengakses empat macam layanan sekaligus, yaitu *voice conversation*, *web browser data*, *live video streaming*, dan *buffered video streaming*. Ketiga pengguna masing-masing ditempatkan pada tiga lokasi dengan SNR konstan yang berbeda-beda, yaitu SNR = 1,1904 dB (BER=10<sup>-1</sup>), 5,5936 dB (BER = 10<sup>-2</sup>), dan 9,2213 dB (BER=10<sup>-3</sup>) berturut-turut untuk pengguna 1, 2, dan 3. Hasil pengukuran *throughput* masing-masing pengguna dianalisis berdasarkan nilai keadilan yang dihitung menggunakan *Jain's Fairness Index*.

### 5.1. Throughput Fairness Antarpengguna RR-HARQ

Berdasarkan nilai *throughput* yang diperoleh, *Jain's Fairness Index* dapat dihitung sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^3 T_i \right\}^2}{3 \left\{ \sum_{i=1}^3 T_i^2 \right\}}$$

$$f(x) = \frac{(3,165 + 3,285 + 3,194)^2}{3(3,165^2 + 3,285^2 + 3,194^2)}$$

$$f(x) = 0,99975 = 99,975\%$$

Nilai tersebut berarti bahwa keadilan algoritma RR-HARQ bersifat distributif. Terlihat dari *throughput* rata-rata yang diperoleh masing-masing pengguna, di mana nilainya hampir sama, meskipun berada pada kondisi kanal yang berbeda.

Pengguna-3 berada pada kondisi kanal yang lebih baik daripada dua pengguna lainnya, tetapi *throughput* yang diperoleh tidak lebih baik. Hal ini terjadi karena karakteristik penjadwalan *Round Robin* yang tidak adaptif terhadap kondisi kanal dan *throughput* yang dirasakan pengguna, sehingga alokasi untuk ketiga pengguna akan sama rata. Ketika algoritma *Round Robin* dikombinasikan dengan HARQ, berdampak pada jumlah alokasi *resource* untuk masing-masing pengguna berbanding terbalik dengan kondisi kanalnya.

### 5.2. Throughput Fairness Antarpengguna CI-HARQ

Berdasarkan nilai *throughput* yang diperoleh, *Jain's Fairness Index* dapat dihitung sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^3 T_i \right\}^2}{3 \left\{ \sum_{i=1}^3 T_i^2 \right\}}$$

$$f(x) = \frac{(3,008 + 3,045 + 3,850)^2}{3(3,008^2 + 3,045^2 + 3,850^2)}$$

$$f(x) = 0,98632 = 98,632\%$$

Meskipun tidak sebaik RR-HARQ, nilai 98,632% menandakan bahwa sistem tersebut dapat dikatakan adil. Keadilan algoritma CI-HARQ tidak bersifat distributif, terlihat dari *throughput* rata-rata yang diperoleh setiap pengguna tetap berbanding lurus dengan kondisi kanal masing-masing. Pengguna dengan kondisi kanal paling baik mendapatkan *throughput* yang paling baik, karena pengaruh algoritma CI yang mengutamakan pengguna dengan kanal terbaik akan mendapatkan porsi alokasi paket terbanyak.

### 5.3. Throughput Fairness Antarpengguna PF-HARQ

Berdasarkan nilai *throughput* yang diperoleh, *Jain's Fairness Index* dapat dihitung sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^3 T_i \right\}^2}{3 \left\{ \sum_{i=1}^3 T_i^2 \right\}}$$

$$f(x) = \frac{(3,085 + 3,013 + 3,747)^2}{3(3,085^2 + 3,013^2 + 3,747^2)}$$

$$f(x) = 0,98998 = 98,998\%$$

Nilai keadilan untuk PF-HARQ sedikit lebih baik daripada CI-HARQ. Berdasarkan nilai tersebut, keadilan pada sistem PF-HARQ tidak bersifat distributif, terlihat dari selisih *throughput* rata-rata antarpengguna yang cukup besar. Nilai *throughput* pada algoritma kombinasi ini tidak berbanding lurus terhadap kondisi kanal pengguna. Kombinasi PF, yang mengutamakan keadilan alokasi *resource* antarpengguna, dengan HARQ, sebagai mekanisme *re-transmission*, menghasilkan suatu kombinasi akan memberikan alokasi besar bagi pengguna yang nilai *throughput* kecil, yang disebabkan oleh kanal yang buruk.

### 5.4. Throughput Fairness Kombinasi Penjadwalan-HARQ

Pada Tabel 2 terlihat bahwa algoritma kombinasi RR-HARQ memperoleh nilai keadilan paling tinggi yaitu 99,975%, diikuti oleh PF-HARQ

98,998% dan CI-HARQ 98,632%. Ketiga kombinasi tersebut dapat dikatakan menghasilkan keadilan bagi setiap pengguna, karena *Jain's Fairness Index* bernilai lebih dari 90% [7]. Dari perbandingan ketiga algoritma tersebut, terlihat bahwa HARQ dapat memberikan keadilan tinggi ketika dikombinasikan dengan algoritma *Round Robin*. Algoritma *Round Robin* memberikan alokasi *resource* yang merata kepada seluruh pengguna, tanpa mempertimbangkan kondisi kanal (CQI) tempat pengguna berada. HARQ yang dikombinasikan dengan, algoritma *Proportional Fairness*, yang menggunakan nilai CQI sebagai faktor untuk mengalokasikan *resource*, menghasilkan nilai keadilan tidak sebaik RR-HARQ.

Dari *throughput* yang dihasilkan ketiga kombinasi terlihat bahwa keadilan yang diperoleh berbanding terbalik dengan total *throughput*. CI-HARQ mendapatkan total *throughput* tertinggi dengan 9,903 Mbps, meskipun nilai keadilan rendah, diikuti PF-HARQ 9,845 Mbps, dan RR-HARQ 9,644 Mbps. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi CI-HARQ unggul dalam memperoleh *throughput* sistem yang tinggi. Kombinasi HARQ dengan algoritma Maximum C/I menghasilkan total *throughput* tinggi karena karakteristik algoritma Maximum C/I yang memprioritaskan *resource* untuk pengguna dengan nilai CQI tinggi, meningkatkan jumlah paket yang diterima dengan benar di sisi pengguna. Kombinasi RR-HARQ yang menghasilkan nilai keadilan tinggi memiliki total *throughput* rendah dibandingkan dua kombinasi lainnya.

## 6. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian pada makalah ini, antara lain:

- Kombinasi RR-HARQ menghasilkan keadilan *throughput* antarpengguna paling baik dibandingkan dua kombinasi lainnya berdasarkan *Jain's Fairness Index*, yaitu 99,975%, diikuti PF-HARQ 98,998%, dan CI-HARQ 98,632%.
- HARQ akan menghasilkan nilai keadilan yang tinggi ketika dikombinasikan dengan algoritma penjadwalan dengan alokasi *resource* yang adil terhadap setiap pengguna, oleh karena itu RR-HARQ menghasilkan nilai keadilan paling tinggi dibandingkan dua kombinasi lainnya.
- Algoritma penjadwalan yang diintegrasikan dengan HARQ menghasilkan total *throughput* tertinggi ketika HARQ dikombinasikan dengan algoritma penjadwalan yang memprioritaskan alokasi *resource* bagi pengguna dengan nilai CQI terbaik, meskipun nilai keadilan menjadi berkurang.

Dengan demikian, hasil tersebut menunjukkan bahwa penjadwalan yang diintegrasikan dengan HARQ dapat meningkatkan keadilan *throughput* antarpengguna, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [12, 17] yang tidak mengombinasikan penjadwalan dan HARQ.

## Daftar Pustaka

- [1] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, “*Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Layer Aspect for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) (Release 7) TR 25.814*”, Perancis, 3GPP Organizational Partners, 2006.
- [2] Anaviroh, “*Model Antrian Satu Server Dengan Pola Kedatangan Berkelompok (Batch Arrival)*”, Yogyakarta, Universitas Negeri Yogyakarta, 2011.
- [3] Capozzi, F., G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, dan P. Camarda, “*Downlink Packet Scheduling in LTE Cellular Networks: Key Design Issues and A Survey*”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15, No. 2, Second Quarter 2013.
- [4] European Telecommunication Standard Institute, “*Multiplexing and Channel Coding (3GPP TS 36.212 Version 8.8.0 Release 8)*”, Perancis, ETSI, 2010.
- [5] European Telecommunication Standard Institute, “*Physical Channel and Modulation (3GPP TS 36.211 Version 10.0.0 Release 10)*”, Perancis, ETSI, 2011.
- [6] European Telecommunication Standart Institute, “*Recuirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN) (3GPP TR 25.913 Version 8.0.0 Release 8)*”, Perancis, ETSI, 2009.
- [7] Jain, Rajendra K., Dah-Ming W. Chiu, dan William R. Hawe, “*A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination of Resource Allocation in Shared Computer System*”, Digital Equipment Corporation, Hudson, 1984.
- [8] Mannani, Dinesh, “*Modeling and Simulation of Scheduling Algorithms in LTE Networks*”, Warsawa, Warsaw University of Technology, 2012.
- [9] Shah, Syed Hamid Ali, Mudasar Iqbal, dan Tassadaq Hussain, “*Comparison Between Wimax and 3GPP LTE*”, Blekinge Institute of Technology, 2009.
- [10] Surnyaman, Bagus, “*Perbandingan Performansi Algoritma Penjadwalan Round Robin, Maksimum C/I, dan Proportional Fair dengan Menggunakan HARQ pada Sistem 3GPP LTE*”, Bandung, Institut Teknologi Telkom, 2010.