

ANALISIS PENGGUNAAN ALGORITMA *RESOURCE SCHEDULING* BERDASARKAN *USER GROUPING* UNTUK SISTEM *LTE-ADVANCED* DENGAN *CARRIER AGGREGATION*

ANALYSIS OF RESOURCE SCHEDULING ALGORITHM BASED-ON USER GROUPING FOR LTE-ADVANCE SYSTEM WITH CARRIER AGGREGATION

Vinsensius Sigit¹, Ali Muayyadi², Arfianto Fahmi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹vinsensiussigit@students.telkomuniversity.ac.id, ²alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id,
³arfiantof@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jurnal ini memfokuskan pada resources scheduling pada sistem LTE-Advance dengan Carrier Aggregation (CA). Dengan adanya sistem CA ini, setiap user dapat dijadwalkan pada beberapa carrier secara bervariasi. Karena perbedaan frekuensi untuk setiap carrier, maka berbeda pula fading dan cakupan untuk tiap carriernya. *Fairness* dalam alokasi resources block tidak bisa dicapai dengan algoritma penjadwalan *proportional fair* (PF) konvensional, karena algoritma PF mengasumsikan semua user dapat dijadwalkan pada seluruh carrier. Maka dibuatlah algoritma modifikasi PF dengan mengelompokkan user terlebih dahulu sesuai dengan jumlah carrier yang dapat diberikan kepada user tersebut yaitu algoritma *weighted-PF* (W-PF) yang menambahkan perbandingan jarak dalam proses alokasi dan algoritma *user grouping-PF* (UG_PF) yang membagi user dan RB pada beberapa grup spesifik.

Kata kunci: *Carrier aggregation, User grouping, Proportional fair, LTE-Advanced*

Abstract

This journal focuses on resources scheduling on LTE-Advance system with Carrier Aggregation (CA). With the CA systems, each user can be scheduled on different number of multiple carriers. Because of the differences for each carrier frequency, then the fading characteristic and coverage for each of the carrier are different. Fairness in the resources block allocation can not be achieved with conventional proportional fair (PF) scheduling algorithm, because the PF algorithm assumes all users can be scheduled on the same number of carrier. The modified PF algorithm was made by grouping the user according to the number of carriers that can be given to the user first. There are *weighted-PF* (W-PF) algorithm, which adds distance ratio in the allocation process, and *user grouping-PF* (UG-PF) algorithm that divides the user and RB in some specific group.

Keywords: *Carrier aggregation, User grouping, Proportional fair, LTE-Advanced*

1. Pendahuluan

Dengan bertambahnya permintaan akan akses yang lebih cepat. Maka dikeluarkan dan dikembangkanlah sistem *LTE-Advance* (LTE-A) oleh *fourth generation (4G) mobile system*. 3GPP kembali memperkenalkan teknologi baru yaitu *Carrier Aggregation* (CA) dimana dua atau lebih komponen carrier pada satu pita frekuensi atau pita frekuensi yang berbeda dapat di satukan / diagregasi. Untuk mendukung bandwidth transmisi yang lebih lebar dan efisiensi spektrum. CA menjadi standar baru di sistem *LTE-Advanced* [1]. Dalam CA nantinya setiap carrier akan digunakan untuk mentransmisikan resources block kepada user. Dengan adanya sistem CA ini, setiap user dapat dijadwalkan pada beberapa carrier secara bervariasi. Dalam skema inter-band carrier aggregation dengan frekuensi yang tidak berdekatan, tiap carrier ini memiliki karakter yang berbeda pula seperti pathloss dan efek Doppler [2].

Pada penelitian [3] [4] [5] [6] diusulkan skema penjadwalan PF pada sistem OFDM yang digunakan pada sistem LTE dengan 1 carrier (tanpa CA) sehingga diasumsikan semua user dapat dijadwalkan pada carrier tersebut. Pada penelitian [7] [8] [9] mulai dipikirkan bagaimana jika skema penjadwalan PF pada sistem *multicarrier*. Dengan adanya sistem CA pada LTE-A, algoritma PF konvensional tidak optimal digunakan karena tidak semua user dapat dijadwalkan pada semua carrier yang ada, karena karakter fading dan pathloss yang berbeda untuk setiap carriernya. Karena itu *fairness* sistem akan menurun. Lalu diusul juga pada penelitian [10] untuk melakukan pengelompokan user berdasarkan carrier yang mungkin dijadwalkan terlebih dahulu sebelum diterapkan algoritma PF.

Maka dalam prakteknya, dibutuhkan skema resources allocation yang baik untuk mengalokasikan *resources block* kepada para user untuk memaksimalkan performa sistem. Terdapat beberapa algoritma penjadwalan yang sering digunakan seperti *proportional fair algorithm*. *Proportional fair* berusaha menyeimbangkan antara *throughput* dan keadilan sistem (*system fairness*). Tetapi dalam sistem CA, *fairness* dalam alokasi *resources block* tidak bisa dicapai dengan algoritma penjadwalan *proportional fair* (PF) konvensional, karena algoritma PF mengasumsikan semua user

dapat dijadwalkan pada seluruh carrier [3] [4] [5]. Maka dibuatlah algoritma berbasis PF dengan mengelompokkan user (*User Grouping PF / UG-PF*) sesuai dengan jumlah carrier yang dapat diberikan kepada user tersebut [10].

Pada jurnal ini akan dibahas skema resource scheduling berbasis PF yang akan terlebih dahulu mengelompokkan user berdasarkan jumlah carrier yang bisa dialokasikan pada user. Karena perbedaan frekuensi carrier, maka karakter fading dan cakupan dari tiap carrier juga berbeda sehingga tiap user tidak dapat dijadwalkan di semua carrier. Beberapa penelitian yang menganalisa metode ini dengan propagation model distance-dependent path loss di frekuensi 800 MHz, 2300 MHz, dan 3400 MHz [6]. Jurnal ini mengacu pada penelitian tersebut dengan sedikit mengubah proses alokasi, mengubah *propagation model* dan menggunakan rentang frekuensi yang berbeda yaitu 700 MHz, 800 MHz, dan 1800 MHz.

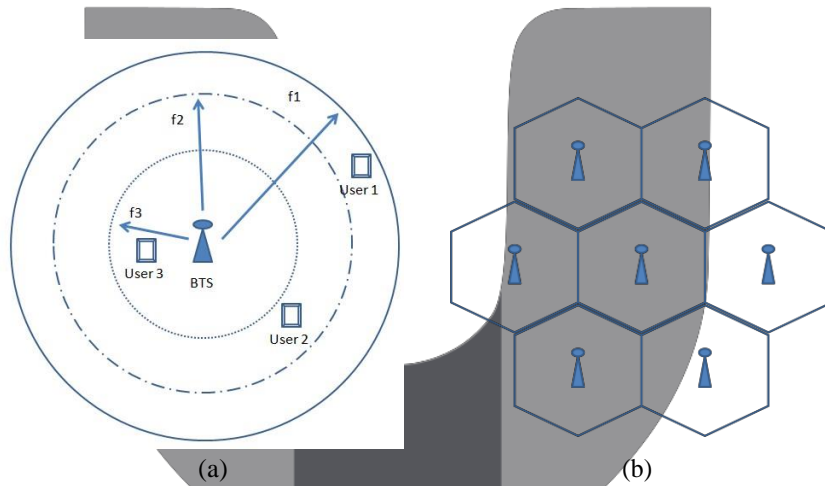
2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1. Desain Awal Model Sistem

Awalnya struktur cell menggunakan skema inter-band dengan carrier yang berjauhan. Sebagai contoh ada 3 komponen carrier f_1, f_2, f_3 . f_1 untuk frekuensi paling rendah dan f_3 untuk frekuensi paling tinggi. Digunakan *equal power allocation* (EPA) sehingga f_1, f_2 , dan f_3 memiliki daya transmit yang sama P_T . Karena karakteristik fading pada frekuensi tinggi lebih besar dari frekuensi rendah maka coverage f_2 lebih kecil dari f_1 karena pathlossnya lebih besar. User 1 berada diluar cakupan f_2 dan f_3 jadi hanya bisa dijadwalkan di carrier f_1 . Sementara User 2 terletak di cakupan carrier f_1 dan f_2 maka dapat dialokasikan di kedua carrier tersebut tetapi tidak di f_3 . Sedangkan user 3 bisa dijadwalkan di semua carrier dengan total 3 kelompok user

Satu sistem cell terdiri dari satu base station (BS) dan memiliki N user dan berada di daerah kota. Jumlah komponen carrier yang bisa di agregasi berjumlah L dan setiap komponen carrier memiliki bandwidth yang sama. Tiap komponen carrier memiliki V resource block (RB). Dengan digunakannya EPA power transmit pada RB n adalah $p(n) = P_T/V$. Sebuah kelompok carrier dapat didefinisikan sebagai [10]:

$$C = \{f_1, f_2, \dots, f_L\} \quad (1)$$



Gambar 1. (a) Sistem model 1 cell dan (b) sistem model 1 cluster

Satu *cell* berada dalam 1 *cluster* dengan 6 *cell* disekelilingnya. Antena eNB menggunakan antenna omni dengan gain yang sama ke semua arah sehingga 1 user di *cell* yang diuji mengalami interferensi dari 6 *cell* disekelilingnya.

2.2. Algoritma Proportional fair

Proportional fair adalah algoritma penjadwalan yang sering digunakan pada *resources scheduling algorithm*. Hal ini didasarkan pada keseimbangan antara dua kepentingan: Mencoba untuk memaksimalkan *throughput* total sementara pada saat yang sama memungkinkan semua pengguna setidaknyanya mendapatkan pelayanan minimal. Hal ini dilakukan dengan menetapkan masing-masing aliran data, data rate, atau prioritas penjadwalan (tergantung pada implementasi) berbanding terbalik dengan konsumsi sumber daya yang terjadi. Berikut adalah algoritma *proportional fair*. Dalam setiap slot penjadwalan s , *Resources Block* (RB) n diberikan kepada user i^* yang memiliki perbandingan maksimal antara parameter kualitas sesaat (CSI atau *data rate*) dengan parameter kualitas rata-rata yang diterima. Dirumuskan dengan [10]:

$$i^* = \arg \max_{i \in \mathcal{U}} \frac{r_{i,n}}{R_i} \quad (2)$$

dimana α_n adalah parameter kualitas sesaat di RB n dan α_i adalah parameter kualitas rata-rata yang diterima user i . * adalah user yang mendapat RB karena memiliki perbandingan paling tinggi. Dengan algoritma ini, dalam satu kali alokasi (1 timeslot/TTI) memungkinkan adanya 1 user yang tidak mendapat RB. Tetapi dengan berjalannya waktu, parameter rata-rata user yang sering mendapat RB menjadi bertambah dan memperkecil perbandingannya. Parameter rata-rata user di update berdasarkan persamaan :

$$\alpha_n(t+1) = 1 - \frac{1}{T_c} \alpha_n(t) + \frac{1}{T_c} \alpha_i(t) \tag{3}$$

$$\alpha_i = \begin{cases} 1; & \alpha_i \neq \alpha^* \\ 0; & \alpha_i = \alpha^* \end{cases} \tag{4}$$

dengan T_c adalah banyaknya TTI (Transmission Time Interval) pada 1 kali pengamatan.

2.3. Pengelompokan User

User grouping adalah upaya untuk mengelompokkan user ke beberapa kategori tertentu sehingga mudah untuk dilakukan penjadwalan. Pada jurnal ini dilakukan user grouping berdasarkan path loss (PL) yang dialami oleh user. Untuk kebutuhan coverage, path loss maksimum untuk sebuah carrier tidak boleh lebih dari thresholnya (PL_{th}). Karena perbedaan letak user maka PL yang dialami user untuk setiap carrier pun berbeda. Jadi untuk user i grouping dapat didefinisikan sesuai dengan PL dari setiap komponen carrier sebagai berikut [10] :

$$\Omega_i = \{n | PL_{i,n} < PL_{th}, 1 \leq n \leq N, 1 \leq i \leq I\} \tag{5}$$

Dimana $PL_{i,n}$ adalah PL dari user i di carrier n . Jika jumlah elemen untuk group Ω_i dinotasikan dengan M_i . Jika

$M_i \geq j$ berarti jumlah carrier yang bisa dijadwalkan pada user i adalah j . Jadi user dapat dibagi menjadi beberapa grup sebagai berikut :

$$M_i = \{j | M_i \geq j, 1 \leq j \leq N\} \tag{6}$$

Jurnal ini menggunakan model propagasi Okumura-Hata dengan berasumsi cell berada di daerah urban. Jadi $PL_{i,n}$ dapat dihitung :

$$PL_{i,n} = PL_{0,n} + \alpha_n \log \frac{d}{d_0} - 13,83 \log \frac{f}{f_0} - \alpha_n \log \frac{f}{f_0} + 44,9 - 6,55 \log \frac{f}{f_0} \log \frac{f}{f_0} \tag{7}$$

dimana d adalah jarak dari BS ke user, sehingga jari-jari cakupan dari carrier n dinotasikan sebagai d_n dapat dihitung dengan :

$$d_n + \alpha_n \log \frac{d_n}{d_0} - 13,83 \log \frac{f}{f_0} - \alpha_n \log \frac{f}{f_0} + 44,9 - 6,55 \log \frac{f}{f_0} \log \frac{f}{f_0} = PL_{th} \tag{8}$$

- $d_1 = 69,55 ; 400 \leq d_1 \leq 1500$
- $d_2 = 46,3 ; 1500 < d_2 \leq 2000$
- $d_3 = 26,16 ; 400 \leq d_3 \leq 1500$
- $d_4 = 33,9 ; 1500 < d_4 \leq 2000$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \begin{cases} 0 & 150 < d_1 < 2000 \\ 30 & 30 < d_1 < 200 \end{cases} \\ \alpha_2 &= \begin{cases} 1 & 1 < d_2 < 10 \\ 0 & 1 < d_2 < 20 \end{cases} \\ \alpha_3 &= \begin{cases} 0 & 1 < d_3 < 20 \\ 1 & 1 < d_3 < 20 \end{cases} \\ \alpha_4 &= 1,1 \log \frac{d}{d_0} - 0,7 \log \frac{f}{f_0} - 1,56 \log \frac{f}{f_0} - 0,8 \end{aligned} \tag{9}$$

berdasarkan frekuensi carrier yang telah didefinisikan (1) maka dapat diperoleh :

$$f_1 > f_2 > \dots > f_N \tag{10}$$

2.4. Algoritma Weighted-Proportional Fair

Probabilitas RB n dialokasikan untuk user i dinotasikan sebagai $\Psi_{i,n}$ dapat dihitung sebagai berikut [10]:

$$\Psi_{\gamma} = \max_{\gamma} \Gamma_{\gamma} = \max \Gamma_{1,\gamma}, \Gamma_{2,\gamma}, \dots, \Gamma_{N,\gamma} = \int_{\gamma} f_{\gamma}(\gamma) d\gamma \quad (11)$$

Dimana $f_{\gamma}(\gamma)$ adalah *probability density function* (PDF) dari Γ_{γ} adalah kondisi pada user i memiliki nilai tertinggi dari N user. Dengan rata-rata probabilitas akses kanal pada persamaan (3.14), proses presource scheduling dapat

mencapai *fairness* yang baik diantara para user. Tetapi saat menggunakan *carrier aggregation* keadaan tersebut tidak bisa dicapai karena perbedaan cakupan dari tiap carrier maka algoritma *proportional fair* harus sedikit dimodifikasi dengan skema *User Grouping*. Probabilitas RB n dialokasikan kepada user i pada grup g dinotasikan dengan $\Psi_{i,n}^g$. Dan kebijakan penjadwalan W-PF dinotasikan dengan $\Gamma_{i,n}^g$. Maka probabilitas rata-rata akses kanal dari user group adalah :

$$\Psi_{i,n}^g = \Gamma_{i,n}^g = \Gamma_{i,n}^g \Gamma_{i,n}^g \dots \Gamma_{i,n}^g \cdot \epsilon_{i,n}^g \quad (12)$$

Jika $p_{i,n}$ menotasikan probabilitas user i menjadi bagian group g dan user terdistribusi uniform di seluruh cell. Maka dari persamaan (3.10) dan fungsi distribusi uniform, $p_{i,n}$ dapat ditung sebagai berikut :

$$p_{i,n} = \epsilon_{i,n}^g = \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{N} = \frac{1}{N^2} \quad (13)$$

Sehingga, $\Psi_{i,n}^g$ dapat disimpulkan :

$$\Psi_{i,n}^g = \frac{1}{N^2} \cdot \Gamma_{i,n}^g = \frac{1}{N^2} \cdot \Gamma_{i,n}^g \Gamma_{i,n}^g \dots \Gamma_{i,n}^g = \frac{1}{N^2} \Gamma_{i,n}^g = \max \Gamma_{i,n}^g \quad (14)$$

Kemudian, kebijakan penjadwalan $\Gamma_{i,n}^g$ didapatkan sebagai berikut :

$$\Gamma_{i,n}^g = \Gamma_{i,n}^g \cdot \frac{1}{N^2} = \frac{1}{N^2} \cdot \Gamma_{i,n}^g \quad (15)$$

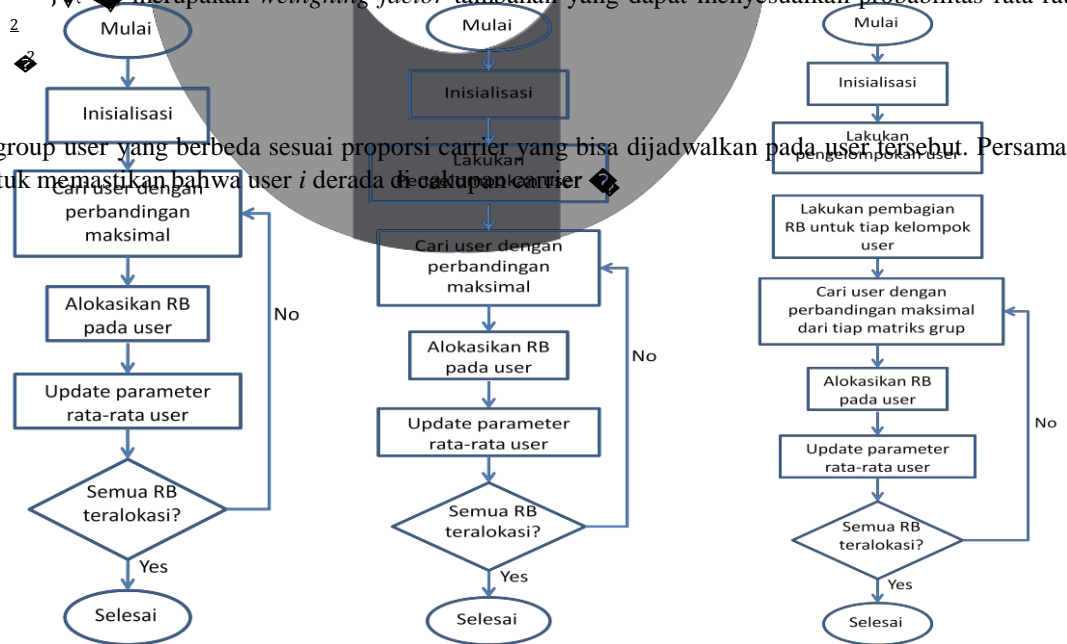
Sehingga algoritma penjadwalan W-PF dapat dideskripsikan sebagai berikut :

$$i^* = \arg \max_{i \in U} \frac{1}{N^2} \cdot \Gamma_{i,n}^g \cdot \beta \quad (16)$$

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_g\} \quad (17)$$

dimana $\beta = \frac{1}{N^2} \cdot \epsilon_{i,n}^g$ merupakan *weinghing factor* tambahan yang dapat menyesuaikan probabilitas rata-rata

akses kanal dari group user yang berbeda sesuai proporsi carrier yang bisa dijadwalkan pada user tersebut. Persamaan (18) berfungsi untuk memastikan bahwa user i berada di cakupan carrier c .



(a)

(b)

(c)

Gambar 2. (a) *flowchart* algoritma PF, (b) *flowchart* algoritma W-PF, (c) *flowchart* algoritma UG-PF

2.5. Algoritma User Grouping-Proportional Fair

Sebelum dilakukan penjadwalan, user dikelompokkan berdasarkan persamaan (4)-(9) Kemudian user dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

1. Grup 1 yaitu grup user dalam yang bisa memakai carrier 1800 Mhz, 800 Mhz, dan 700 Mhz (3 komponen carrier)
2. Grup 2 yaitu grup user dalam yang bisa memakai carrier 800 Mhz, dan 700 Mhz (2 komponen carrier)
3. Grup 3 yaitu grup user dalam yang hanya bisa memakai carrier 700 Mhz (1 komponen carrier)

Sedangkan untuk pembagian resources block dari tiap carrier kepada tiap group dilakukan pembobotan sesuai perhitungan berikut :

$$w_k = \frac{1}{\sum_{k \in G} \frac{1}{w_k}} \quad (18)$$

Dimana w_k adalah jumlah anggota grup G dan r_k adalah jari-jari batas cakupan carrier sesuai persamaan (5). Karena jumlah RB yang didapat grup G dari carrier c yang dibagi ke masing-masing grup tidak boleh lebih dari V . Sehingga jumlah RB yang didapat grup G dari carrier c dapat dihitung dengan :

$$R_{k,c} = \frac{w_k}{\sum_{k \in G} w_k} \cdot V \quad (19)$$

$$R_{k,c} \leq V \quad (20)$$

Maka jumlah RB yang didapat grup G dari semua carrier yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

$$R_k = \sum_{c \in C} R_{k,c} \quad (21)$$

Keluaran dari proses ini adalah 3 matriks (1 matriks untuk setiap grup) dengan ukuran yang bervariasi sesuai dengan jumlah user dan jumlah RB untuk masing-masing grup. Setelah itu tiap-tiap matriks ini dilakukan algoritma PF secara independen.

2.6. Proses Simulasi

Algoritma yang akan diuji adalah algoritma modifikasi PF yaitu W-PF dan UG-PF. Proses utama ke tiga algoritma ini adalah membandingkan parameter sesaat user dengan parameter rata-rata user. RB akan dialokasikan pada user dengan user dengan perbandingan yang bernilai paling besar. Untuk meninjau performansi dan kinerja pada algoritma W-PF dan UG-PF maka kedua algoritma itu akan dibandingkan dengan algoritma PF yang asli tanpa modifikasi. Kinerja masing-masing algoritma akan ditinjau dari 2 parameter yaitu *average user throughput*, dan *fairness*.

Tabel 1. Parameter simulasi

<i>Bandwidth per carrier</i>	5 Mhz
Jumlah RB per TTI	25 RB
Jumlah TTI per pengamatan	200 TTI
Jari-jari <i>cell</i>	250 meter
Layout <i>cell</i>	<i>Single cell</i> dengan 6 <i>cell</i> disekelilingnya
Frekuensi komponen carrier	700 Mhz, 800 Mhz, 1800 Mhz
<i>Bandwidth RB</i>	180 kHz
Model propagasi	COST 231, urban, kanal <i>Rayleigh</i>
Gain eNB	18 dBi
Gain UE	0 dBi
Noise Figure	7 dB
Daya transmit eNB	40 Watt (46 dBm)
Penetration Loss	20 dB
Tinggi eNB	30 meter
Tinggi UE	1,5 meter
Jumlah User	5-50 user dengan kenaikan sebesar 5

Berikut adalah aliran simulasi sistem. Proses simulasi dimulai dengan penempatan user di dalam cakupan *cell*. Lalu dilakukan penghitungan *Channel State Information* (CSI) dari tiap user di tiap RB pada timeslot tertentu menggunakan sistem komunikasi yang terdiri dari receiver, transmitter, kanal fading, rugi-rugi di ruang bebas serta interferensi yang terjadi. Setelah itu dilakukan pengelompokan user sesuai dengan [10] berdasarkan *pathloss* user pada tiap komponen carrier. Selanjutnya dilakukan pengalokasian RB pada tiap user menggunakan algoritma *proportional fair* (PF), *weighted proportional fair* (W-PF) dan *user grouping proportional fair* (UG-PF).

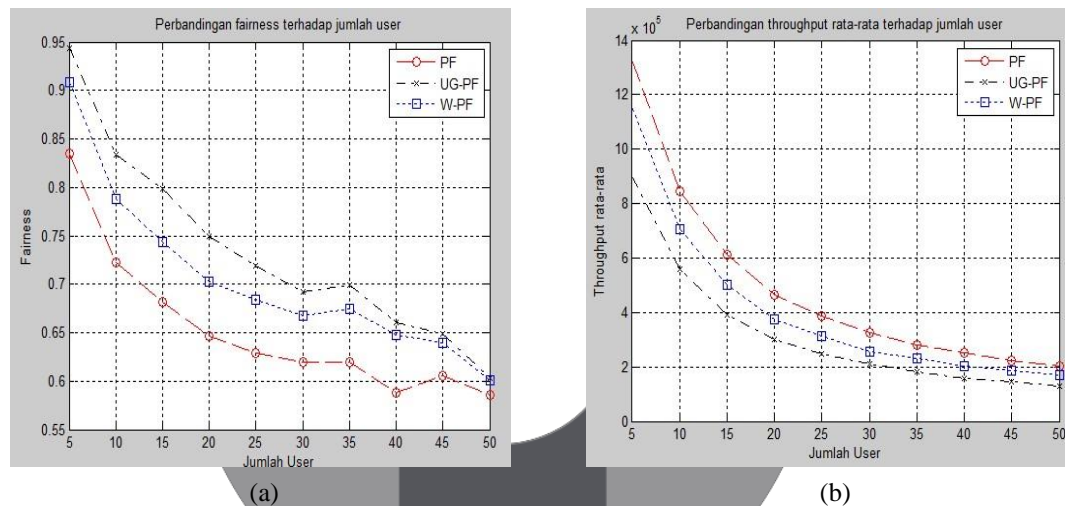
3. Pembahasan Hasil Simulasi

3.1. Fairness

Gambar 3(a) menunjukkan perubahan nilai *fairness* sistem dari algoritma PF, W-PF, dan UG-PF pada kondisi nilai user yang divariasikan. Simulasi dilakukan dengan *pathloss threshold* 102,5 dB.

Kenaikan *fairness* paling besar terjadi pada algoritma UG-PF yaitu antara 0,017-0,109 yang terus meningkat seiring berkurangnya user. Hal ini dikarenakan user terlebih dahulu dikelompokkan menjadi grup-grup tertentu dan RB dibagi sebelum proses penjadwalan sehingga user hanya dibandingkan dengan user lain di grup yang sama. Hal ini menyebabkan user-user ini diperbandingkan dengan user-user yang berderajat sama (dapat dijadwalkan pada sejumlah *carrier* yang sama)

Sedangkan pada algoritma W-PF, *fairness* juga meningkat sebesar 0,015-0,073 yang terus meningkat seiring berkurangnya user. Hal ini diakibatkan karena user yang berada di grup luar mendapat tambahan bobot yang lebih besar dibandingkan dengan user-user yang berada di grup yang lebih dekat dengan eNB (perbandingan R_k^2/R^2). Dengan mendapat bobot yang lebih besar, user-user di daerah luar akan mendapat lebih banyak RB dibanding user-user lain yang lebih dekat dengan eNB. Tetapi karena masih dibandingkan secara bersama user di dalam satu *cell*, *fairness* sistem tidak sebaik UG-PF.



Gambar 3. (a) Perubahan fairness dan (b) perubahan *average user throughput* terhadap perubahan jumlah user

3.2. Throughput

Gambar 3(b) menunjukkan nilai *average user throughput* algoritma PF, W-PF, dan UG-PF pada kondisi user yang divariasikan. Simulasi dilakukan dengan nilai *pathloss threshold* 102,5 dB. Dapat dilihat pada grafik diatas nilai *average user throughput* algoritma PF berada diatas 2 algoritma yang lain dimana W-PF berada di urutan kedua dan UG-PF berada di urutan terakhir. Hal ini disebabkan karena algoritma W-PF mengalokasikan RB yang lebih banyak untuk user-user yang berada di daerah luar *cell*, sedangkan algoritma UG-PF telah menetapkan terlebih dahulu jumlah RB untuk tiap-tiap kelompok user demi menjaga *fairness* sistem.

Tetapi dapat dilihat juga semakin banyak jumlah user, throughput rata-rata sistem tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok antara ke 3 algoritma. Pada sistem dengan jumlah user adalah 5, perbedaan nilai throughput antara PF dengan W-PF mencapai 1,72 Mbps sedangkan perbedaan PF dengan UG-PF mencapai 4,26 Mbps. Pada sistem dengan user berjumlah 50, angka ini menurun menjadi 306 kbps antara PF dan W-PF, dan 715 kbps antara PF dan UG-PF. Ini diakibatkan karena dengan bertambahnya user, throughput rata-rata sistem pada algoritma PF mengalami depresiasi lebih besar dibanding W-PF dan UG-PF. Penurunan *average user throughput* paling besar terjadi di algoritma PF (1117 kbps), diikuti algoritma W-PF (976 kbps), dan UG-PF (763 kbps).

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi didapat beberapa kesimpulan yaitu :

1. Algoritma PF memiliki nilai *average user throughput* paling tinggi dibanding dengan algoritma W-PF (perbedaannya mencapai 306-1720 kbps) dan algoritma UG_PF (perbedaannya mencapai 715-4260 kbps).
2. Algoritma modifikasi PF yaitu UG-PF dan W-PF memiliki tingkat fairness yang lebih baik daripada algoritma PF konvensional. Pada Algoritma UG-PF tingkat *fairness* naik 0,017-0,109. Sedangkan Untuk algoritma W-PF tingkat *fairness* naik sebanyak 0,015-0,073. Hal ini dikarenakan untuk mencapai fairness yang lebih baik, algoritma W-PF dan UG-PF harus mengalokasikan lebih banyak RB pada user yang berada di daerah luar.
3. Dengan bertambahnya jumlah user, nilai *average user throughput* pada tiap algoritma menurun dengan penurunan paling banyak terjadi pada algoritma PF, turun sebanyak 1117 kbps, algoritma W-PF turun sebanyak 976 kbps, dan UG-PF yang turun sebanyak 763 kbps.
4. Peningkatan nilai *pathloss threshold* tidak terlalu banyak mempengaruhi nilai *average user throughput* pada algoritma W-PF dan UG-PF. Algoritma W-PF mengalami penurunan sebanyak 639 kbps, sedangkan UG-PF mengalami kenaikan maksimal sebanyak 611 kbps kemudian turun kembali sebanyak 66 kbps.
5. Peningkatan nilai *pathloss threshold* paling berpengaruh pada tingkat *fairness* algoritma W-PF dimana meningkat sebanyak 0.609 pada range PLth 100,5-102,5 dB dan menunjukkan kestabilan setelahnya. Sedangkan algoritma UG-PF menunjukkan kecenderungan turun yaitu menurun dengan penurunan maksimal sejauh 0,104 (PLth 104 dB).

Daftar Pustaka

- [1] Nidhi Arora, "Carrier Aggregation in LTE-Advanced," May 2013.
- [2] 3GPP R1-091304, "Doppler Impact of Higher Carrier Frequencies on LTE – A Uplink," January 2009.
- [3] Wengerter Christian, Jan Ohlhorst, and A.G.E. von Elbwart, "Fairness and Throughput Analys for Generalized Proportional Fair Frequency Scheduling in OFDMA," *IEEE VTC 2005-Spring*, vol. 3, pp. 1573-1577, May 2005.
- [4] Yao Ma, "Proportional Fair Scheduling for Downlink OFDMA," *IEEE ICC '07*, pp. 4843-4848, 2007.
- [5] Zukang Shen, Jeffrey G Andrews, and Bryan L Evans, "Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM System with Proportional Fairness," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 4, no. 6, pp. 2726-2737, 2005.
- [6] Chang Liu, Xiaowei Qin, Sihai Zhang, and Wuyang Zhou, "Proportional-Fair Downlink Resource Allocation in OFDMA-Based Relay Networks," *Journal of Communications and Networks*, December 2011.
- [7] Hyung Yeol Lee, Mingyu Kang, Young Jin Sang, and Kwang Soon Kim, "The Modified Proportional Fair Scheduling Algorithms for Real-Time Applications in Multiuser Multicarrier System".

- [8] Hoon Kim and Youngnam Han, "A Proportional Fair Scheduling for Multicarrier Transmission Systems," *IEEE Communications Letters*, March 2005.
- [9] Le-xiang Lin et al., "Resource scheduling in downlink LTE-advanced system with carrier aggregation ," *Elsevier*, February 2012.
- [10] Shi Songsong, Feng Chunyan, and Caili Guo, "A Resource Scheduling Algorithm Based on User Grouping for LTE-Advanced System with Carrier Aggregation," *IEEE 2009 International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology*, 2009.
- [11] S. M. Sari, A. Fahmi, and B. Syihabuddin, "Algoritma Pengalokasian Resource Block Berbasis QoS Guaranteed Menggunakan Antena MIMO 2x2 pada Sistem LTE untuk Meningkatkan Spectral Efficiency," *Semnasteknomedia*, 2015.
- [12] *LTE Resource Guide*. USA: Anritsu.
- [13] 3rd Generation Partnership Project, *LTE Resources Guide*.: Anritsu.
- [14] 3GPP TR 25.814 V7.1.0, "Technical Specification Group Radio Access Network," *Further Advancement for E-UTRA; Physical Layer Aspect (Release 7)*, October 2006.
- [15] 3GPP TR 36.814V0.4.1, "Technical Specification Group Radio Access Network," *Further Advancement for E-UTRA; Physical Layer Aspect (Release 9)*, p. 6, February 2009.
- [16] Andreas F. Molisch, *Wireless Communications*, 2nd ed. California, USA: Wiley, 2011.
- [17] Stefania S, *LTE - The UMTS Long Term Evolution*.: Wiley, 2009.
- [18] M. Ergen USA, *Mobile Broadband : Including Wimax and LTE*. USA: Springer, 2009.