

ANALISIS ALOKASI RESOURCE BLOCK ARAH UPLINK PADA SISTEM LONG TERM EVOLUTION DENGAN SC-FDMA MENGGUNAKAN ALGORITMA HEURISTIC

Analysis of Resource Block Allocation in Uplink Communication of LTE System with SC-FDMA Using Heuristic Algorithm

Gina Ramadhanti¹, Dr. Arfianto Fahmi S.T.,M.T.², Nur Andini, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

¹ginaramadhanati@students.telkomuniversity.ac.id, ²arfiantof@telkomuniversity.ac.id,

³nurandini@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan jumlah pengguna seluler memberikan dampak meningkatnya pula kebutuhan laju data untuk mengakses berbagai layanan telekomunikasi. Jaringan *wireless* yang berkembang memiliki beberapa keterbatasan seperti penggunaan sumber daya radio. Diperlukan alokasi sumber daya yang efisien agar penggunaan sumber daya radio dapat dimaksimalkan. LTE menggunakan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada arah *uplink*. SC-FDMA dipilih karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang digunakan oleh teknologi LTE pada arah *downlink*. SC-FDMA memiliki nilai *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) yang lebih rendah dibandingkan dengan OFDMA. Karena itu, SC-FDMA memiliki kompleksitas yang cukup tinggi. Untuk itu diperlukan algoritma yang dapat mengoptimalkan sistem alokasi *resource* pada teknologi LTE arah *uplink* tanpa meningkatkan tingkat kompleksitas pada sistem. Untuk mengembangkan penelitian alokasi *resource* pada teknologi LTE arah *uplink*, tugas akhir ini akan mensimulasikan kinerja dari tiga buah algoritma yaitu algoritma *Round Robin*, algoritma *Heuristic*, dan *Modified Heuristic*. Parameter yang dianalisis pada hasil simulasi adalah pengaruh jumlah user terhadap nilai *spectral efficiency*, *average datarate*, *system throughput*, *fairness index*, *starvation ratio*, dan *complexity*. Hasil dari simulasi ini menyatakan bahwa algoritma *Modified Heuristic* dapat meningkatkan *fairness index* dan memperkecil *starvation ratio* tanpa meningkatkan kompleksitas algoritma apabila dibandingkan dengan algoritma *Heuristic* dan *Round Robin* dengan rata-rata *fairness index* dan *starvation ratio* pada algoritma *Modified Heuristic* bernilai 0,787 dan 2,03%.

Kata kunci : LTE, Resource Allocation, SC-FDMA, Round Robin, Heuristic Algorithm

Abstract

Increasing number of mobile users has caused the higher data rate request to access a variety of telecommunications services. Wireless network has some limitations such as the used of radio resource. Efficient allocation of the resources is required in order to maximize the used of radio resources. LTE uses Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) in the uplink communication because it has several advantages compared to Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) that is used in downlink communication of LTE. SC-FDMA has a lower value of Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) compared to OFDMA. Therefore, the SC-FDMA has a fairly high complexity. It required an algorithm that can optimize the resource allocation system without increasing complexity of the system. To develop the study of resource allocation in the uplink communication of LTE technology, this research will simulate the performance of the two algorithms, there are Round Robin algorithm and Heuristic algorithms. The parameters analyzed in the simulation results is the effect of the number of users on the value of spectral efficiency, average datarate, system throughput, fairness index, starvation ratio, and the complexity of the algorithm. The results of this simulation states that Modified Heuristic algorithms can increase the value of fairness index and also reduce starvation ratio without increasing complexity of the algorithm when compared with Heuristic algorithms and Round Robin with the average of 0.787 and 2.03%.

Key Words : LTE, Resource Allocation, SC-FDMA, Round Robin, Heuristic Algorithm

1. Pendahuluan

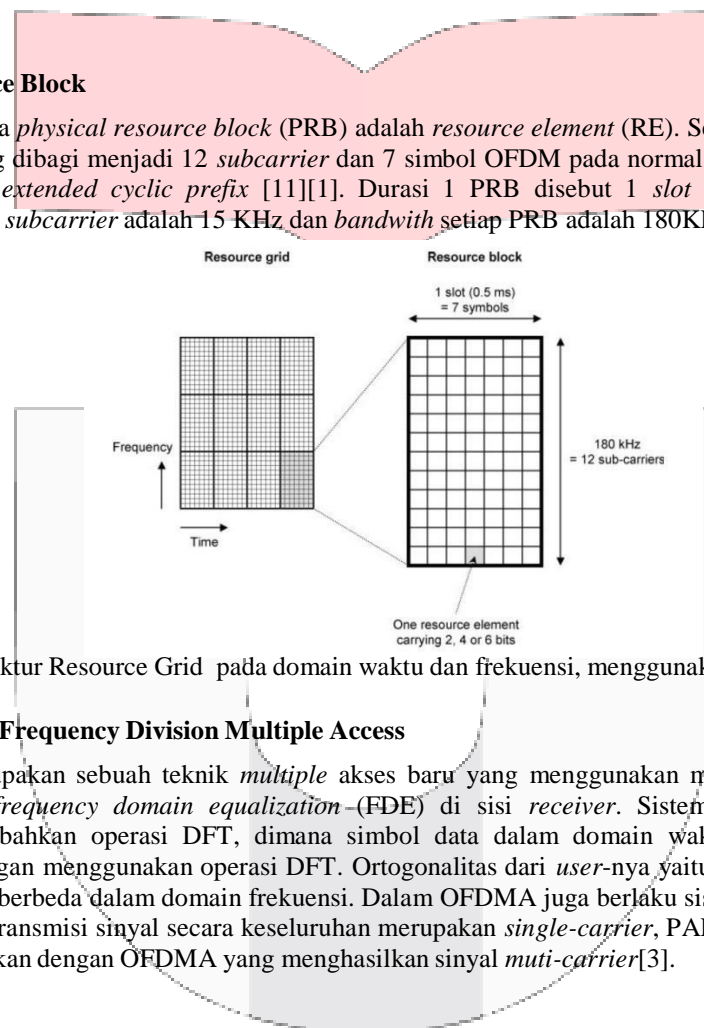
Pada standar *Third Generation Partnership Project Long Term Evolution* (3GPP LTE)[8], *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) telah terpilih sebagai skema akses *uplink* karena rendahnya nilai *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) dibandingkan dengan *Multi-Carrier Orthogonal Frekuensi Division Multiple Access* (MC-OFDM)[4]. Berbeda dengan OFDM, SC-FDMA memerlukan alokasi

Resource Block (RB) yang berdekatan kepada setiap *user* untuk mendapatkan nilai PAPR yang baik[4]. Selain itu, user yang telah mendapatkan alokasi RB harus menggunakan *Modulation and Coding Scheme* (MCS) yang konstan[5]. Mempertimbangkan alokasi sub carrier yang harus *contiguous*, Al-Rawi et al. Pada [7] Menawarkan skema Heuristic Localized Gradient Algorithm (HLGA) yang di desain untuk teknik *scheduling* pada arah uplink LTE. Peneliti pada [7] memformulasi masalah *wighted-sum rate maximization* dengan menggunakan *pure binary-integer program*, dengan *greedy heuristic algorithm* yang menawarkan kompleksitas yang lebih rendah. Miao Wang et al. pada[10]mengusulkan algoritma penjadwalan pada SC-FDMA pada kasus dimana UE dapat menggunakan MCS mode yang berbeda pada RB yang telah dialokasikan. Pada penelitian tersebut diberikan MCS *mode constraint* untuk memaksimalkan *throughput*. Digunakan pula algoritma heuristic agar mengurangi kompleksitas pada sistem tersebut. Tugas Akhir ini akan mengevaluasi, menguji, dan memodifikasi algoritma *Heuristic* di [10] pada skenario yang berbeda, yaitu pengujian pengaruh jumlah dan jarak *user* terhadap beberapa parameter yang diamati serta menganalisis kompleksitas waktu algoritma yang digunakan. Parameter kerja yang diamati pada tugas akhir ini adalah *spectral efficiency*, *average data rate*, *system throughput*, *starvation ratio*, *fairness index*, dan *time complexity*.

2. Teori

A. Physical Resource Block

Unit terkecil pada *physical resource block* (PRB) adalah *resource element* (RE). Sebuah PRB terdiri dari 84 *resource element* yang dibagi menjadi 12 *subcarrier* dan 7 simbol OFDM pada normal *cyclic prefix* (CP) dan 6 simbol OFDM pada *extended cyclic prefix* [11][1]. Durasi 1 PRB disebut 1 *slot* dengan panjang 0,5 ms. *Bandwith* untuk setiap *subcarrier* adalah 15 KHz dan *bandwith* setiap PRB adalah 180KHz[6].



Gambar 1. Struktur Resource Grid pada domain waktu dan frekuensi, menggunakan normal CP [10]

B. Single Carrier – Frequency Division Multiple Access

SC-FDMA merupakan sebuah teknik *multiple* akses baru yang menggunakan modulasi *single-carrier* di sisi *transmitter* dan *frequency domain equalization* (FDE) di sisi *receiver*. Sistem SC-FDMA merupakan OFDMA yang ditambahkan operasi DFT, dimana simbol data dalam domain waktu ditransformasikan ke domain frekuensi dengan menggunakan operasi DFT. Ortogonalitas dari *user*-nya yaitu setiap *user* ditempatkan pada *subcarrier* yang berbeda dalam domain frekuensi. Dalam OFDMA juga berlaku sistem ortogonalitas seperti diatas namun karena transmisi sinyal secara keseluruhan merupakan *single-carrier*, PAPR pada SC-FDMA lebih rendah jika dibandingkan dengan OFDMA yang menghasilkan sinyal *multi-carrier*[3].

3. Perancangan

A. Inisialisasi

Proses yang dilakukan dalam simulasi ini adalah pembangkitan CSI dalam bentuk SNR, selanjutnya mengalokasikan PRB yang memiliki nilai SNR terbaik terlebih dahulu. Pengalokasian dilakukan sampai kebutuhan *data rate* minimum masing-masing *user* terpenuhi. Untuk mengembangkan kinerja algoritma heuristic ini, dilakukan beberapa modifikasi untuk mendapatkan nilai parameter kerja yang lebih baik. Digunakan pula algoritma Round Robin sebagai algoritma pembandingnya.

Untuk mendapatkan SNR masing-masing *user* digunakan persamaan [2] :

$$(1)$$

Dengan P_{max} adalah daya pancar dari PRBn dan γ_k merupakan kondisi kanal user k pada PRBn. Pada penelitian ini, digunakan *equal power allocation* sehingga setiap PRB memiliki daya pancar yang sama. Kondisi kanal user didefinisikan dengan persamaan berikut [18]:

$$P_k = \frac{P_{max}}{N} \tag{2}$$

merupakan gain transmit, G_r adalah gain receive, $L_{k,n}$ merupakan *pathloss*, $L_{k,n}$ merupakan *loss shadowing* pada user k dengan nilai 6-10 dB, P_{max} Loss Penetration yang digunakan adalah 32 watt pada *urban area*, k merupakan konstanta boltzman, T merupakan suhu sitem, B merupakan *bandwith* PRB, dan NF merupakan Noise Figure. Model *pathloss* yang digunakan adalah *pathloss* untuk *macrocell* pada *urban area* yang didefinisikan dengan persamaan berikut[9]:

$$L_{k,n} = 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 \tag{3}$$

Dengan $L_{k,n}$ merupakan *pathloss* dan d merupakan jarak user terhadap eNodeB.

B. Mapping CQI Index

Untuk mengetahui modulasi yang digunakan beserta *code rate* masing-masing RB diperlukan *mapping* informasi kanal ke CQI *index*. Setelah mendapatkan matriks $k \times n$ yang berisi kondisi kanal user k pada PRBn, diperlukan *mapping* nilai tersebut terhadap CQI *index* untuk mendapatkan informasi mengenai modulasi serta *code rate* yang digunakan. Untuk dapat melakukan *mapping* terhadap CQI *index*, dibutuhkan informasi tambahan untuk mengkorelasikan kondisi kanal terhadap CQI *index*. Berdasarkan [5] efisiensi dapat dihitung dengan persamaan

$$\eta = \frac{R}{B} \tag{4}$$

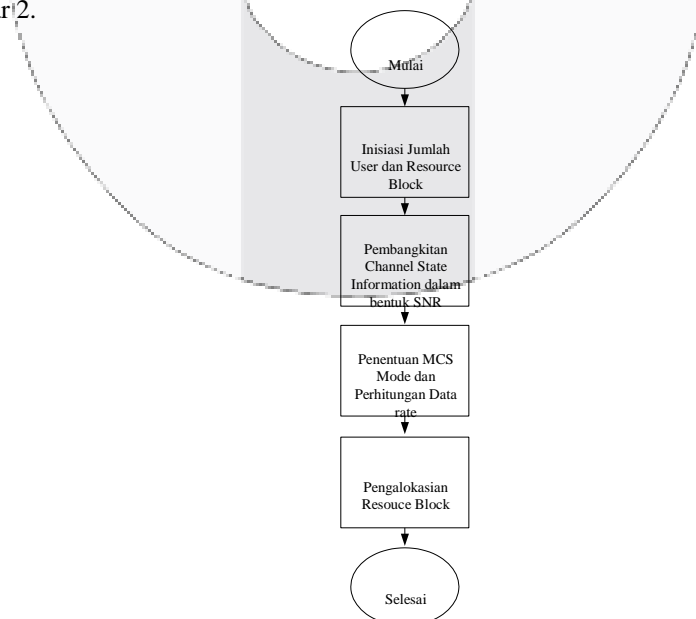
Dengan R merupakan besarnya faktor attenuasi. Setelah mendapatkan CQI *index*, data rate masing-masing user dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada [2]

$$R_k = \sum_{n=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P_k G_{k,n}}{N_0 B} \right) \tag{5}$$

Dengan R_k merupakan *data rate user* k dalam satuan kbps, B merupakan *bandwith system*, N merupakan jumlah RB pada system, dan γ_k adalah SNR user k pada RBn.

C. Perancangan Simulasi

Pada penelitian ini digunakan empat buah algoritma untuk melakukan simulasi serta membandingkan performansi pada sistem. Algoritma yang digunakan adalah *Round Robin*, *Heuristic*, dan *Modified Heuristic*. Proses lokasi *resource block* secara umum diawali dengan melakukan inisialisasi awal jumlah user dan *resource block*. Kemudian dilakukan pembangkitan CSI dalam bentuk SNR pada tiap user. Setelah mengetahui kondisi kanal user, dilakukan penentuan MCS *mode* yang dapat digunakan pada masing-masing user. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pengalokasian *resource block*. Flow chart alokasi *resource block* secara umum dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir simulasi

4. Pembahasan

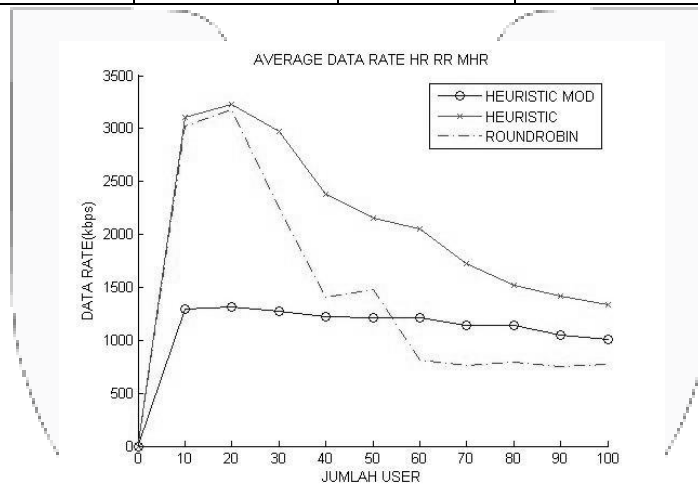
Setelah melakukan alokasi *resource block*, akan didapatkan hasil simulasi dengan parameter yang telah diberikan, kemudian dilakukan analisis data pengaruh jumlah *user* terhadap nilai *spectral efficiency*, *average data rate*, *system throughput*, *starvation ratio* dan *fairness index*. Dianalisis pula mengenai kompleksitas setiap algoritma.

A. Average Data Rate

Salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja algoritma dalam melakukan alokasi *resource block* adalah *average data rate*. *Average data rate* menggambarkan rata-rata kecepatan transfer data masing-masing *user*. Berikut perbandingan *average data rate* alokasi RB menggunakan algoritma *Round Robin*, *Heuristic*, dan *Modified Heuristic*.

Tabel 1. Perbandingan average data rate

Jumlah User	Average Data Rate(kbps)		
	Round Robin	Heuristic	Modified Heuristic
10	3020,286973	3105,276728	1290,261231
20	3176,765022	3232,731225	1310,645438
30	2247,138883	2971,608424	1271,212859
40	1405,503507	2382,739082	1223,466386
50	1476,528398	2158,464051	1214,520625
60	815,1756693	2047,801994	1212,498152
70	758,9705174	1728,349031	1141,544452
80	788,0182156	1524,566982	1142,983833
90	751,271999	1422,250566	1049,235964
100	769,9150467	1339,346088	1008,930861
rata-rata	1520,957423	2191,313417	1186,52998



Gambar 3. Perbandingan Average Data Rate

Pada Gambar 3 dapat kita lihat bahwa algoritma *Heuristic* memiliki *average data rate* tertinggi dibandingkan dengan algoritma *Round Robin* dan *Modified Heuristic*. Hal ini disebabkan oleh algoritma *Heuristic* melakukan alokasi RB kepada setiap *user* dengan melakukan perbandingan RB kanan dan kiri yang paling tepat untuk dialokasikan hingga mencapai *update sumthroughput* maksimal, sehingga ada *user* yang mendapatkan nilai *data rate* sangat tinggi dan menyebabkan tingginya rata-rata *data rate* pada sistem.

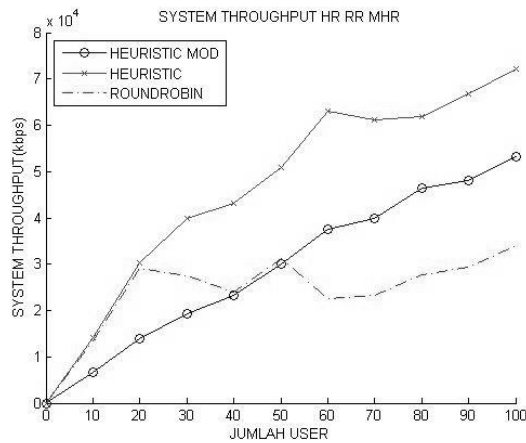
Dapat kita lihat pada Tabel 1 *average data rate* yang didapatkan menggunakan algoritma *Heuristic* adalah 2191,31 kbps. Algoritma *Round Robin* memiliki kecenderungan menurunnya *average data rate* seiring dengan pertambahan *user*. Algoritma *Round Robin* memiliki nilai *average data rate* tertinggi dengan 3176,76 kbps pada kondisi *user* dua puluh dan menurun cukup tajam setelah kondisi *user* lebih dari dua puluh, sedangkan algoritma *Modified Heuristic* memiliki *average data rate* yang stabil dengan rata-rata 1186,53 kbps.

B. System Throughput

Salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja algoritma dalam melakukan alokasi *resource block* adalah *system throughput*. *System throughput* menggambarkan pencapaian *throughput* rata-rata *system* yang diiterasi sebanyak *TTI sample* yang digunakan. Berikut perbandingan *average data rate* alokasi RB menggunakan algoritma *Round Robin*, *Heuristic*, dan *Modified Heuristic*.

Tabel 2. Perbandingan system throughput

Jumlah User	System Throughput(kbps)		
	Round Robin	Heuristic	Modified Heuristic
10	13448,89713	14190,80169	6615,138811
20	29187,62189	30374,52341	13813,25325
30	27541,51969	39781,87335	19230,35253
40	23916,8558	43188,87256	23366,08874
50	31309,80501	50871,66515	30081,81682
60	22479,19646	62948,55224	37512,10238
70	23373,47427	61148,97641	39778,05854
80	27775,46009	61970,4236	46549,27303
90	29471,90488	66883,21857	48021,5289
100	34147,649	72180,99369	53132,79685
rata-rata	26265,23842	50353,99007	31810,04099



Gambar 4. Perbandingan system throughput

Pada Gambar 4 dapat kita lihat bahwa algoritma *Heuristic* memiliki *system throughput* tertinggi dibandingkan dengan algoritma *Round Robin*, dan *Modified Heuristic* dengan rata-rata 50353,99 kbps. Hal ini disebabkan karena algoritma *Heuristic* memiliki rata-rata *data rate* yang tinggi seperti yang dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya *system throughput* untuk algoritma *Modified Heuristic* dan *Round Robin* secara berturut-turut adalah 31810,04 kbps dan 26265,23 kbps. Secara umum dapat kita lihat bahwa *system throughput* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah *user*.

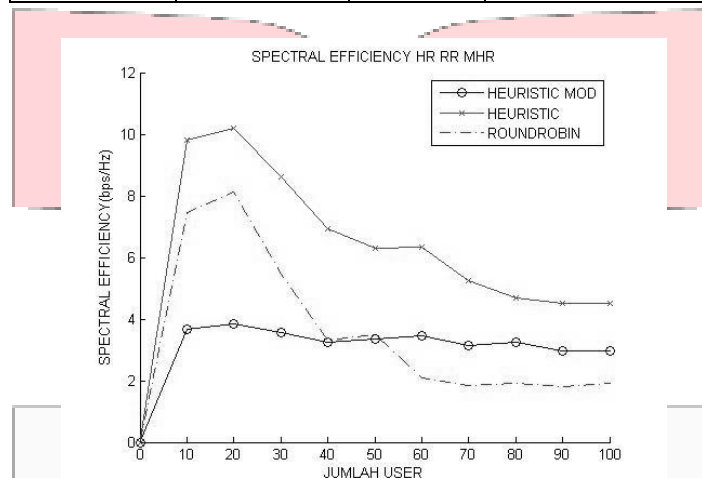
C. Spectral Efficiency

Spectral Efficiency merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk mengevaluasi kinerja algoritma dalam melakukan alokasi *resource-block*. *Spectral Efficiency* menggambarkan banyaknya bit yang dapat dibawa pada sebuah nilai frekuensi. Berikut perbandingan *average data rate* alokasi RB menggunakan algoritma *Round Robin*, *Heuristic*, dan *Modified Heuristic*.

Dapat kita lihat dari Gambar 5 bahwa algoritma *Heuristic* memiliki *spectral efficiency* yang paling tinggi dengan rata-rata keseluruhan 6,72 bps/Hz. Selanjutnya adalah algoritma *Round Robin* dan *Heuristic* dengan rata-rata keseluruhan 4,1 bps/Hz dan 3,34 bps/Hz. Apabila kita bandingkan dengan parameter lainnya, *spectral efficiency* sebanding dengan nilai *average data rate*. Algoritma *Modified Heuristic* memiliki nilai *spectral efficiency* paling rendah tetapi masih dalam *range* yang optimal untuk kondisi *uplink* LTE ideal yaitu 2,5 bps/Hz.

Tabel 3. Perbandingan spectral efficiency

Jumlah User	Efficiency (bps/Hz)		
	Round Robin	Heuristic	Modified Heuristic
10	9,209715616	9,82388	3,675077117
20	10,00398597	10,20491	3,837014792
30	5,468800581	8,630918	3,561176394
40	3,321785527	6,943366	3,245290103
50	3,478867224	6,313639	3,342424091
60	2,08140708	6,349811	3,473342813
70	1,85503764	5,229565	3,156988773
80	1,928851395	4,698023	3,232588405
90	1,819253388	4,509822	2,964291908
100	1,897091611	4,491388	2,955270924
rata-rata	4,106479603	6,719532	3,344346532



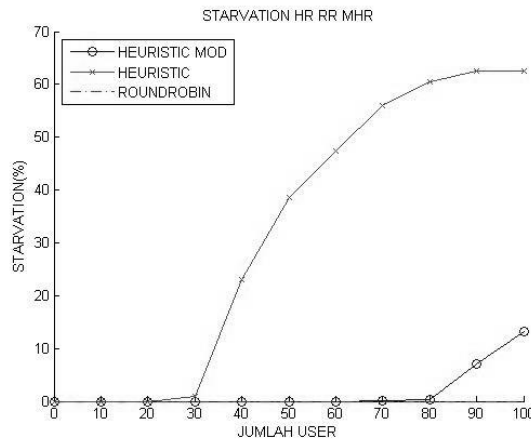
Gambar 5. Grafik perbandingan spectral efficiency

D. Starvation Ratio

Parameter selanjutnya adalah *starvation ratio*. *Starvation ratio* menggambarkan perbandingan antara user yang tidak mendapatkan alokasi RB dengan jumlah user keseluruhan. Parameter ini didefinisikan dengan satuan %. *Starvation ratio* merupakan parameter yang cukup penting untuk mengevaluasi kinerja sistem. Berikut perbandingan *starvation ratio* alokasi resource block menggunakan algoritma Round Robin, Heuristic, dan Modified Heuristic.

Tabel 4. Perbandingan Starvation Ratio

Jumlah User	Starvation Ratio (%)		
	Round Robin	Heuristic	Modified Heuristic
10	0	0	0
20	0	0	0
30	0	0,9	0
40	0	23,025	0
50	0	38,67333	0
60	0	47,46111	0
70	0	55,97143	0,004761905
80	0	60,50833	0,216666667
90	0	62,47037	6,981481481
100	0	62,54667	13,14333333
rata-rata	0	35,15562	2,034624339



Gambar 6. Grafik Perbandingan Starvation Ratio

Dapat kita lihat dari Gambar 6 bahwa algoritma *Round Robin* selalu memberikan alokasi *resource* kepada setiap *user* sehingga memiliki nilai *starvation ratio* 0 disetiap kondisi jumlah *user*. *Starvation* terbaik selanjutnya dimiliki oleh algoritma *Modified Heuristic* dan yang terakhir adalah algoritma *Heuristic*.

Pada Tabel 4 dapat kita lihat bahwa algoritma *Heuristic* memiliki nilai *starvation ratio* cenderung 0 pada kondisi sepuluh, dua puluh, dan tiga puluh *user* kemudian cenderung meningkat secara linier hingga kondisi *user* 70, kemudian nilai *starvation ratio* cenderung stabil antara 60-62% hingga kondisi *user* 100. Algoritma *Modified Heuristic* memiliki nilai *starvation ratio* 0 saat kondisi *user* kurang dari 70, kemudian perlahan meningkat hingga kondisi *user* 100, *starvation ratio* pada algoritma *Modified Heuristic* bernilai 13,14%.

E. Fairness Index

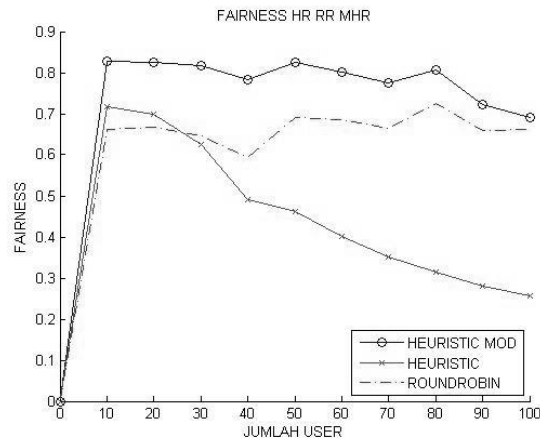
Salah satu parameter yang sangat penting dalam melakukan alokasi *resource block* adalah *fairness*. Parameter ini akan memberikan informasi mengenai kesamaan kesempatan yang didapatkan oleh masing-masing *user* untuk mendapatkan *resource block*. Berikut perbandingan nilai *fairness* alokasi *resource block* menggunakan algoritma *Round Robin*, *Heuristic*, dan *Modified Heuristic*.

Gambar 7 menunjukkan bahwa algoritma *Modified Heuristic* memiliki tingkat *fairness* paling tinggi dibandingkan algoritma *Heuristic* dan *Round Robin*. Hal ini menjelaskan bahwa algoritma *Modified Heuristic* dapat mengalokasikan RB dengan kanal terbaik kepada *user* yang tepat, sehingga *user* mendapatkan kesempatan yang sama dalam mendapatkan alokasi RB.

Pada Tabel 5 dapat kita lihat bahwa algoritma *Heuristic* mengalami penurunan *fairness* seiring dengan bertambahnya jumlah *user*. Sedangkan pada algoritma *Round Robin* dan *Modified Heuristic*, index of *fairness* yang dimiliki cenderung stabil dengan rata-rata nilai 0,665 untuk algoritma *Round Robin* dan 0,787 untuk algoritma *Modified Heuristic*.

Tabel 5. Perbandingan Fairness Index

Jumlah User	Fairness Index		
	Round Robin	Heuristic	Modified Heuristic
10	0,66154445	0,716337355	0,827744926
20	0,667782185	0,697668226	0,825755466
30	0,646419644	0,626098267	0,817383789
40	0,592952934	0,490935266	0,781637553
50	0,68958604	0,462330782	0,826294407
60	0,68569521	0,400634173	0,801277907
70	0,665752604	0,351000286	0,773827164
80	0,723840463	0,314170452	0,805290477
90	0,660094036	0,28092835	0,722976296
100	0,661805494	0,255567968	0,690348104
rata-rata	0,665547306	0,459567113	0,787253609



Gambar 7. Grafik Perbandingan Fairness Index

F. Complexity

Perhitungan *time complexity* pada penelitian kali ini menggunakan notasi $O(\text{Big Oh})$. Setelah dilakukan perhitungan pada setiap tahap algoritma, didapatkan hasil bahwa algoritma *Round Robin* memiliki kompleksitas $O(1)$ yang berarti kompleksitas sistem tidak dipengaruhi oleh banyaknya masukan, sedangkan algoritma *Heuristic* dan *Modified Heuristic* memiliki kompleksitas yang sama yaitu $O(n^2)$.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis pada pengujian sistema, algoritma *Modified Heuristic* dapat meningkatkan *fairness index* dan memperkecil *starvation ratio* tanpa meningkatkan kompleksitas algoritma apabila dibandingkan dengan algoritma *Heuristic* dan *Round Robin*. Rata-rata *fairness index* dan *starvation ratio* pada algoritma *Modified Heuristic* bernilai 0,787 dan 2,03%. Sedangkan algoritma *Heuristic* memiliki *average data rate* dan *system throughput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma *Modified Heuristic* dan *Round Robin*. Dengan skenario menggunakan patokan *spectral efficiency*, algoritma *Round Robin*, *Heuristic*, dan *Modified Heuristic* memenuhi kebutuhan optimal *spectral efficiency system* pada arah *uplink* yaitu 2,5 bps/Hz.

Daftar Pustaka:

- [1] 3GPP TSG RAN TR 136.211 V8.7.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channel and Modulation," 2009.
- [2] Alagan Anpalagan and Kaamran Raahemifar Sanam Sadr, "Radio Resource Allocation Algorithms for the Downlink of Multiuser OFDM Communication Systems," *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, vol. 11, 2009.
- [3] Arfianto Fahmi, ST. MT., Uke Kurniawan, Ir., MT. Agus Purnomo, "Analisis Pengalokasian Sumber daya Radio Pada Sistem SC-FDMA Arah Uplink Menggunakan Channel Dependent Scheduling (CDS)"
- [4] Lim, and D. Goodman H. G. Myung, "Single carrier FDMA for uplink wireless transmission," *IEEE Vehicular Technology*, vol. I, pp. 30-38, 2006.
- [5] M. Rahman, H. Yanikomeroglu, and W. Wong, "Interference Avoidance with Dynamic Inter-Cell Coordination for Downlink LTE System," *IEEE*, 2009.
- [6] Rathi S., Malik N., Chalal, and Malik S., "Throughput for TDD and FDD 4G LTE System," vol. III, pp. 73-77, 2014.
- [7] O. Oteri, W. McCoy I. C. Wong, "Optimal Resource Allocation in SCFDMA Systems," *IEEE Trans. on Wireless Com.*, vol. 8, pp. 2161-2165, may 2009.
- [8] Technical Specification Group 3rd Generation Partnership Project, "Physical layer aspects for evolved Universal," *3GPP Std. TR 25.814*, vol. 7.0.0, 2006.
- [9] V. 3GPP TSG RAN TR 136.931, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) requirement for LTE pico node B," 2011.
- [10] Zhangdui Zhong, Qiuyan Liu Miao Wang, "Resource Allocation for SC-FDMA in LTE Uplink," 2011.
- [11] Zyren J., *Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer.*, 2007.