

**ANALISIS PENGALOKASIAN DAYA DENGAN MENGGUNAKAN SKEMA
WATERFILLING BERBASIS ALGORITMA GREEDY PADA SISTEM OFDMA**
**ANALYSIS OF POWER ALLOCATION USING WATERFILLING SCHEME BASED
ON GREEDY ALGORITHM IN OFDMA SYSTEM**

Rizal Haerul Akbar¹, Arfianto Fahmi², Hurianti Vidyaningtyas³

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

¹rizalhaerul@students.telkomuniversity.ac.id, ²arfiantof@telkomuniversity.ac.id,
³huriantividya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jurnal ini membahas tentang analisis pengalokasian daya kepada *user* pada sistem OFDMA menggunakan skema *waterfilling* berbasis algoritma *greedy*. dilakukan simulasi dengan menggunakan algoritma *greedy* dan *mean greedy* sebagai algoritma pembandingan untuk mengalokasikan RB kepada *user*. Dengan dibutuhkannya daya yang optimal maka digunakan skema *waterfilling power allocation*. Dengan skema *waterfilling*, *user* yang memiliki noise tinggi maka akan dialokasikan daya yang tinggi juga, sedangkan *user* dengan noise rendah maka akan dialokasikan daya yang rendah juga. Algoritma pengalokasian RB dieksekusi terlebih dahulu. Skema *waterfilling* dilakukan setelahnya untuk memaksimalkan *fairness* sistem dibandingkan dengan skema *equal power allocation*.

Kata kunci: *Greedy, Mean Greedy, Waterfilling, Equal Power Allocation, LTE*

Abstract

This journal discusses the analysis of power allocation for users on OFDMA systems using waterfilling schemes based on greedy algorithms. The simulation was performed using greedy algorithm and mean greedy as the comparison algorithm to allocate RB to the user. With the need for optimal power then used waterfilling power allocation scheme. By applying waterfilling, users who have high noise will have high excess power as well, while users with low noise will be low excess power as well. The RB allocation algorithm is executed first. The waterfilling scheme is done thereafter to maximize fairness system than equal power allocation.

Keywords: *Greedy, Mean Greedy, Waterfilling, Equal Power Allocation, LTE*

1. Pendahuluan

Saat ini merupakan zaman dimana teknologi informasi dan komunikasi mengalami perkembangan yang sangat cepat diiringi dengan jumlah pengguna *smartphone* yang meningkat. Third Generation Partnership Project (3GPP) telah mengenalkan LTE (Long Term Evolution) sebagai generasi jaringan seluler yang selanjutnya akan memenuhi permintaan terhadap komunikasi *mobile*. Dalam 3GPP release 8, LTE menyediakan kecepatan data hingga 100Mb/s untuk arah *downlink* dan 50Mb/s untuk arah *uplink* [1]. LTE menggunakan OFDMA sebagai akses untuk arah *downlink* dan SC-FDMA untuk akses arah *uplink* bertujuan untuk mendapatkan efisiensi spektrum frekuensi. Teknik OFDMA membagi spektrum lebar menjadi beberapa spektrum kecil kemudian dibagi lagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut *resources block* [1].

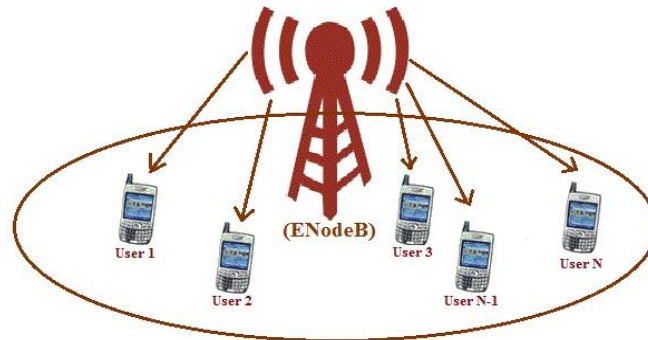
Maka dibutuhkan skema *resources allocation* yang tepat untuk mengalokasikan *resources block* kepada para *user* untuk memaksimalkan parameter performa sistem [2]. Terdapat beberapa algoritma penjadwalan yang sering digunakan salah satunya adalah algoritma *greedy*. Pengalokasian dengan menggunakan algoritma *greedy* tersebut dilakukan dengan cara mengalokasikan *Resource Block* (RB) kepada *user* yang memiliki CSI paling tinggi. Selain *resources allocation* dibutuhkan juga *power allocation* yang bertujuan untuk mengalokasikan daya untuk mencapai efisiensi yang lebih baik. *Waterfilling* merupakan salah satu skema *power allocation* yang sering digunakan untuk mengalokasikan daya [3]. Dengan menggunakan skema *waterfilling*, *user* yang memiliki CSI rendah akan dialokasikan daya lebih tinggi dibandingkan dengan *user* yang memiliki nilai CSI yang tinggi.

Pada jurnal ini dilakukan simulasi pengalokasian daya menggunakan skema *waterfilling* berbasis algoritma *greedy* dengan *mean greedy* sebagai pembandingan pada sistem OFDMA. Sebelum melakukan pengalokasian daya, terlebih dahulu mengalokasikan *resource block* kepada *user* dengan menggunakan algoritma *greedy*. Setelah itu dilakukan pengalokasian daya menggunakan skema *waterfilling power allocation* [3]. Pengalokasian daya dengan menggunakan skema *equal power allocation* menjadi skema pembandingan untuk skema *waterfilling*. Parameter keluaran yang dianalisis pada jurnal ini adalah *average user throughput*, efisiensi spektral, *fairness* sistem dan *time complexity* dari algoritma yang digunakan.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1. Desain Awal Model Sistem

Desain awal pemodelan sistem dapat di ilustrasikan pada gambar 1. Sistem dimodelkan dengan sel tunggal (*single cell*) berdasarkan asumsi bahwa pekerjaan ini interferensi dari sel tetangga dianggap tidak ada. Sistem terdiri dari sebuah eNodeB yang melayani *user* dan memiliki sejumlah N *user* yang terletak di daerah perkotaan. eNodeB hanya terdiri dari satu frekuensi *carrier* sebesar 1800 MHz dan bandwidth 5 MHz. Mengalokasikan *Resource Block* (RB) dan daya kepada *user* dengan menggunakan sistem OFDMA dan melalui kanal *rayleigh*. Parameter keluaran algoritma ini adalah nilai *average user throughput*, *fairness* sistem, efisiensi spektral dan *time complexity*.



Gambar 1. Pemodelan sistem

2.2. Algoritma Greedy

Secara garis besar penelitian pada jurnal ini memiliki sub sistem pengalokasian RB kepada user dengan menggunakan algoritma greedy menggunakan algoritma *greedy*. Algoritma *greedy* merupakan algoritma optimasi yang mengalokasikan RB hanya kepada *user* dengan nilai *Channel State Information* (CSI) terbaik [4]. Dengan menggunakan algoritma ini, sangat memungkinkan ada *user* yang mendapatkan RB lebih dari 1 dan ada *user* yang tidak mendapatkan alokasi sama sekali. Nilai CSI yang paling tinggi yang dialokasikan pada *user* di simbolkan dengan n^* seperti persamaan dibawah [5]:

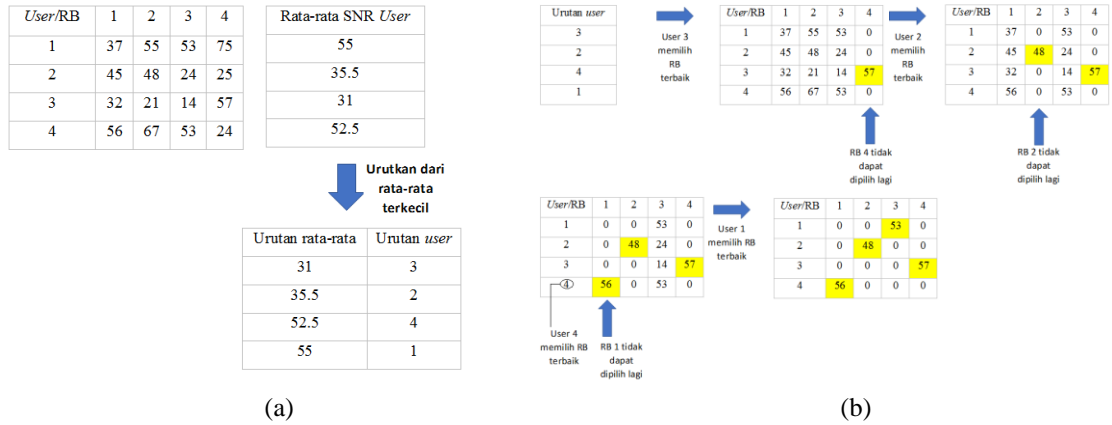
$$n^* = \arg \max H_{n,v}(t), \text{ untuk } RB_v \quad (2)$$

Dimana $H_{n,v}(t)$ adalah parameter kualitas kanal di RB v Proses pengalokasian menggunakan algoritma *greedy* yaitu dengan melihat kondisi kanal masing-masing *user*, sedangkan *user* diurutkan berdasarkan waktu kedatangan untuk melakukan hubungan dengan ENodeB. *User* yang memiliki nilai CSI yang paling tinggi akan mendapatkan alokasi *Resources Block* (RB) dan *user* yang tidak mendapatkan alokasi akan di-nol-kan [6].

2.3. Algoritma Mean Greedy

Algoritma *mean greedy* merupakan bentuk modifikasi dari algoritma *greedy*. Pada dasarnya proses algoritma *mean-greedy* dilakukan dengan melihat pada sisi *user*, setelah proses pemilihan RB berdasarkan yang terbaik pada masing-masing *user* [7]. berdasarkan [8] dan [7] proses dari algoritma *mean-greedy* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sebagai proses inisialisasi, semua RB mengukur *Channel State Information* (CSI) untuk semua *user*.
2. Menghitung rata-rata CSI setiap *user* pada semua RB.
3. *User* diurutkan berdasarkan rata-rata nilai CSI mulai dari yang terkecil sampai yang terbesar. Urutan ini akan menjadi nomor antrian *user*, dimana *user* dengan nilai rata-rata CSI yang terkecil akan menerima RB urutan pertama (gambar 2 (a)).
4. Berdasarkan nomor urutan, *user* n^* memilih RB yang memiliki nilai terbaik berdasarkan persamaan 2 [8]. RB ke- v akan dialokasikan kepada *user* dan tidak bisa dipilih lagi oleh *user* lain



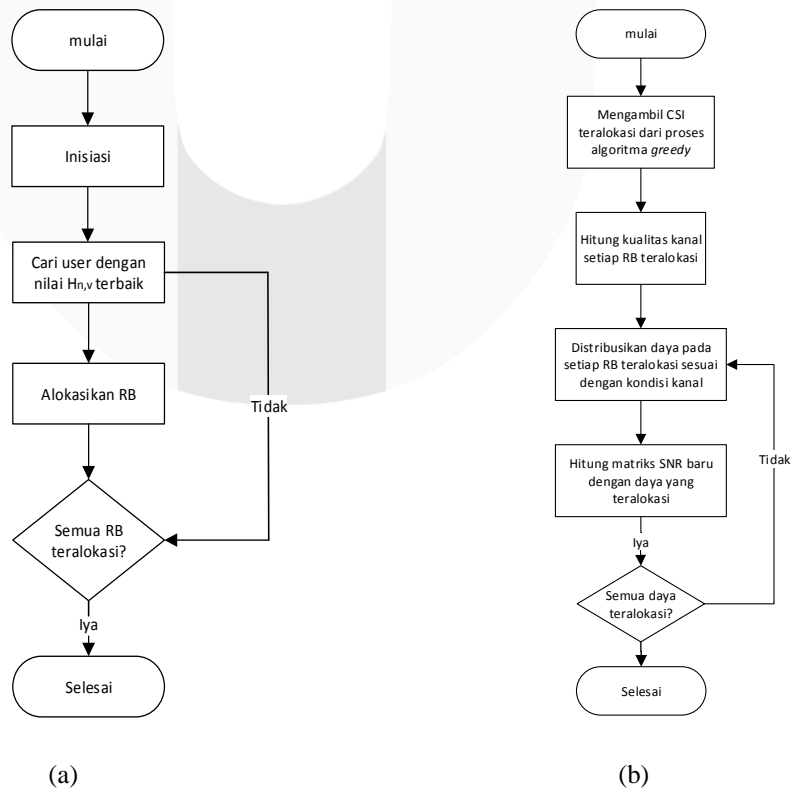
Gambar 2. (a) Ilustrasi untuk pengurutan (*mean greedy*) (b) Ilustrasi algoritma *mean greedy* (

2.4. *Waterfilling power allocation*

Waterfilling adalah suatu skema yang bertujuan untuk mengalokasikan daya ke *user*. *Waterfilling* merupakan skema yang menggunakan prinsip pengisian air pada suatu wadah yang terdapat susunan balok dan memiliki tinggi yang berbeda [9]. Air pada analogi tersebut perumpamaan total daya yang dipancarkan oleh ENodeB daya dan balok merupakan perumpamaan dari hasil alokasi CSI pada proses pengalokasian kanal di setiap *user* yang besarnya bervariasi [9]. Pada skema *Waterfilling user* yang memiliki nilai SNR yang tinggi dialokasikan daya yang rendah, sedangkan *user* yang memiliki SNR rendah dialokasikan daya yang lebih tinggi sesuai prinsip pengisian air [9]. Keluaran dari proses ini adalah berupa matriks alokasi daya yang akan digunakan sebagai masukan untuk perhitungan kinerja sistem [8]. Alokasi daya menggunakan skema *waterfilling* dirumuskan dengan persamaan dibawah ini:

$$P_s(n, v) = \frac{1}{\sum_{n=1}^N \sum_{v=1}^V \frac{1}{H(n,v)}} P_t \tag{3}$$

Dimana $P_s(n, v)$ adalah daya yang dialokasikan ke RB ke- v pada *user* ke- N pada timeslot- s , sedangkan P_t adalah total daya dari *transmitter* dan $H(n,v)$ adalah kondisi kanal pada *user* n dan RB v



Gambar 3. (a) *flowchart* algoritma *greedy*, (b) *flowchart* skema *waterfilling*

2.5. Proses Simulasi

Proses simulasi dimulai dari penebaran *user* di dalam area cakupan eNodeB yang memiliki sifat penebaran acak. Selanjutnya pembangkitan *Channel State Information* (CSI) yang direpresentasikan dengan nilai $H_{n,v}$ dari *User*n dan RBv. Perhitungan CSI dari tiap *user* di setiap RB pada timeslot tertentu menggunakan sistem komunikasi yang terdiri dari receiver, transmitter, kanal fading, serta rugi-rugi di ruang bebas. Selanjutnya nilai CSI di petakan ke nilai CSI index untuk menentukan modulasi dan *coding* yang dipakai pada setiap RB. Selanjutnya dilakukan pengalokasian RB pada tiap *user* menggunakan algoritma *greedy* dan *mean greedy* sebagai pembandingan. Setelah proses pengalokasian RB, dilakukan pengalokasian daya dengan skema *waterfilling*. Kinerja masing-masing algoritma ditinjau parameter *fairness*.

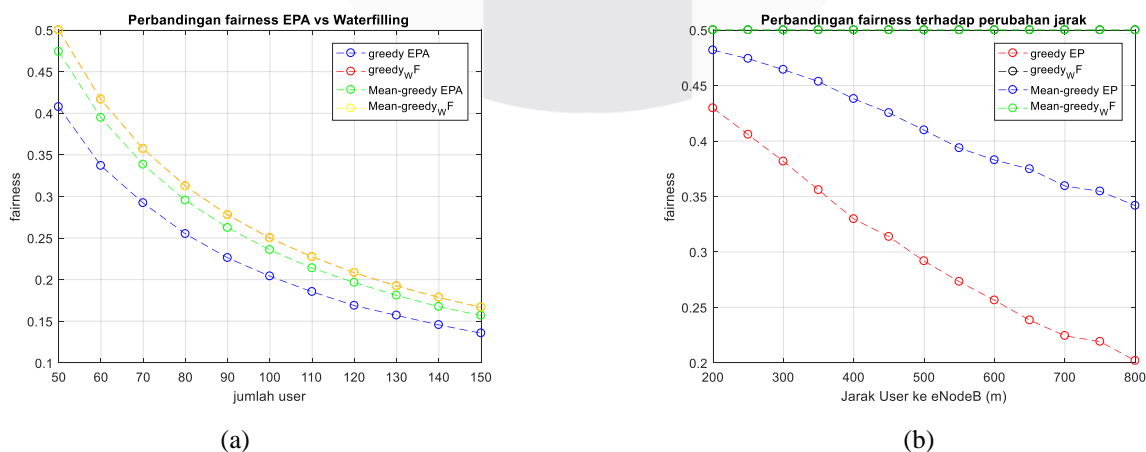
Tabel 1. Parameter simulasi

<i>Bandwidth</i> sistem	5 MHz [8]
Jumlah <i>resource block</i> per TTI	25 <i>resource block</i>
Jumlah TTI per pengamatan	200 TTI
Jari-jari sel	250-800 meter
<i>Layout</i> sel	<i>Single</i> sel [5]
Frekuensi <i>carrier</i>	1800 MHz [5]
<i>Bandwidth resource block</i>	180 kHz [8]
Model Propagasi	<i>Spatial channel model</i> [8]
<i>Gain</i> eNodeB	18 dBi [8]
<i>Gain User Equipment</i>	0 dBi [8]
<i>Noise Figure</i>	7 dB [8]
Daya Pancar eNodeB	40 Watt (46 dBm) [8]
<i>Penetration Loss</i>	20 dB [6]
Jumlah <i>User</i>	50-150 <i>user</i> dengan kenaikan sebesar 10

3. Pembahasan Hasil Simulasi

3.1. Fairness

Parameter yang diamati adalah nilai *fairness* sistem. *Fairness* merupakan kesamaan kesempatan yang didapatkan oleh masing-masing *user* dalam perlakuan untuk mendapatkan sumber daya. Pada perhitungan ini nilai *fairness* sistem skema *greedy-WF* akan di bandingkan dengan *fairness* sistem skema *greedy-EP*, *mean greedy-EP* dan *mean greedy-WF* untuk menganalisis performansi skema *greedy-WF*.



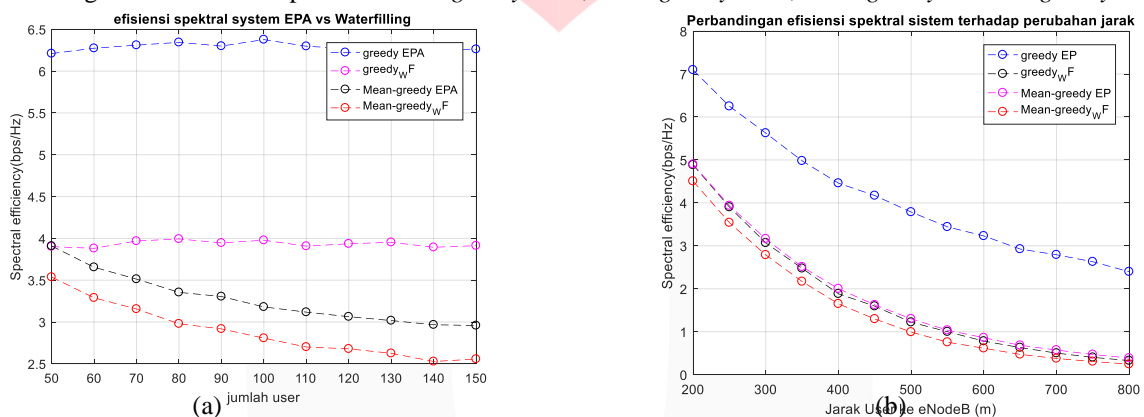
Gambar 4. (a) Perubahan *fairness* pada jumlah *user* bervariasi (b) Perubahan *fairness* sistem pada jarak *user* bervariasi

Pada gambar 4 (a) dilakukan variasi jumlah *user* mulai dari 50-150 dengan kenaikan 10 *user* dan cakupan *cell* sebesar 250 meter. Terjadi kenaikan nilai *fairness* sistem rata-rata sebesar 0.05209 jika menggunakan skema *greedy* WF dibandingkan dengan *greedy* EP sedangkan pada skema *mean greedy* WF terjadi kenaikan rata-rata sebesar 0.01556 dibandingkan dengan skema *mean greedy* EP. Hal tersebut karena penggunaan *waterfilling* pada tugas akhir ini yang memiliki prinsip “*Giving to the poor*” yang berarti mengalokasikan daya relatif lebih besar kepada *user* yang mengalami *noise* tinggi dibandingkan dengan *user* yang mengalami *noise* rendah, sehingga mendapatkan perlakuan yang sama antar *user* sehingga terjadi kenaikan nilai *fairness* sistem. Dari grafik dapat dilihat setiap bertambahnya jumlah *user* maka nilai *fairness* sistem akan mengalami penurunan. Hal tersebut dikarenakan RB yang tersedia sebanyak 25. Pada kondisi jumlah *user* lebih banyak dibandingkan dengan jumlah RB maka ada *user* yang tidak teralokasikan RB, maka seiring bertambahnya jumlah *user* menyebabkan nilai *fairness* sistem akan berkurang.

Pada gambar 4 (b) dilakukan variasi jarak *user* mulai dari 200-800 meter dengan kenaikan 50 meter dan jumlah *user* sebanyak 50. Terjadi kenaikan sebesar 0.19835 jika menggunakan skema *greedy* WF dibandingkan dengan *greedy* EP, sedangkan jika menggunakan *mean greedy* WF terjadi kenaikan sebesar 0.08814 dibandingkan dengan skema *mean greedy* EP. Hal tersebut karena penggunaan *waterfilling* pada tugas akhir ini yang memiliki prinsip “*Giving to the poor*” yang berarti mengalokasikan daya relatif lebih besar kepada *user* yang mengalami *noise* tinggi dibandingkan dengan *user* yang mengalami *noise* rendah, sehingga mendapatkan perlakuan yang sama antar *user*.

3.2. Efisiensi spektral

Parameter selanjutnya yang diamati pada proses pengalokasian daya pada setiap *user* adalah efisiensi spektral. Berdasarkan [10] efisiensi spektral LTE dengan *bandwidth* 5 MHz bernilai sampai 10 bps/Hz (*downlink*) dan 20 bps/Hz (*uplink*). Nilai efisiensi spektral bergantung pada nilai SNR setiap *user* yang telah mendapatkan alokasi daya pada skema *waterfilling* maupun *equal power*. Pada perhitungan ini nilai efisiensi spektral sistem skema *greedy*-WF akan dibandingkan dengan nilai efisiensi spektral skema *greedy* EPA, *mean greedy* EPA, *mean greedy*-WF dan *greedy*-WF.



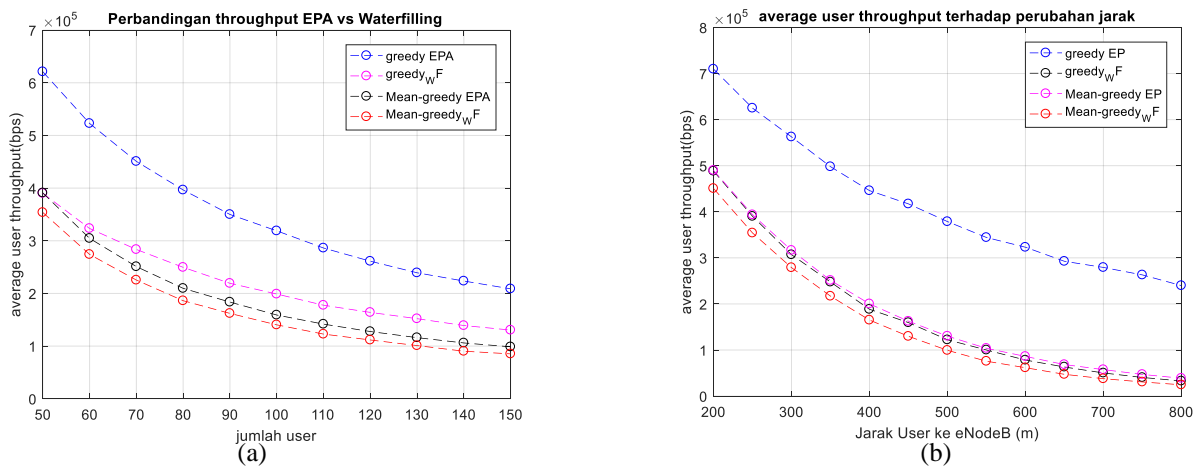
Gambar 5. (a) Perubahan spektral efisiensi sistem pada jumlah *user* bervariasi (b) Perubahan spektral efisiensi sistem pada jarak *user* bervariasi

Pada skenario pertama dilakukan variasi jumlah *user* mulai dari 50-150 dengan kenaikan 10 *user* dan cakupan *cell* sebesar 250 meter. Terlihat bahwa nilai efisiensi spektral sistem ketika menggunakan skema *greedy* WF dibandingkan *greedy* EPA mengalami penurunan rata-rata sebesar 2.35026 bps/Hz. Begitu pula ketika menggunakan pada skema *mean greedy* WF jika dibandingkan dengan *mean greedy* terjadi penurunan rata-rata sebesar 0.387569 bps/Hz. Penurunan nilai efisiensi spektral sistem pada skema *waterfilling* setiap algoritma (*greedy* dan *mean greedy*) terjadi karena prinsip “*giving to the poor*” dimana nilai SNR *user* yang relative tinggi mengalami pengurangan karena dayanya sebagian dialokasikan pada *user* yang memiliki nilai SNR yang relatif rendah. Nilai SNR akan mempengaruhi nilai *user throughput* yang merupakan masukan untuk mencari nilai efisiensi spektral sistem.

Pada skenario kedua dilakukan variasi jarak *user* mulai dari 200 meter sampai 800 meter dengan kenaikan 50 meter dan jumlah *user* sebanyak 50. berdasarkan gambar 5(b) dapat dilihat bahwa skema *equal power* berada diatas skema *waterfilling* baik pada algoritma *greedy* maupun *mean greedy*. Terjadi penurunan nilai efisiensi spektral sebesar 2.39292 bps/Hz jika menggunakan skema *greedy* WF dibandingkan dengan *greedy* EPA, sedangkan jika menggunakan skema *mean greedy* WF dibandingkan skema *mean greedy* EPA terjadi penurunan efisiensi spektral 0.28706 bps/Hz.

3.3. Average user throughput

Salah satu parameter yang digunakan untuk menganalisis kinerja algoritma *greedy* pada proses pengalokasian daya yaitu *user throughput*. Untuk perhitungannya digunakan teorema *Shannon* yaitu total *bandwidth* dikalikan dengan nilai efisiensi spektral pada setiap *user* berdasarkan RB yang telah teralokasikan dialokasikan daya dan memiliki satuan bps (*bit per second*). Nilai *user throughput* skema *greedy*-WF akan dibandingkan dengan *average user throughput* skema *greedy* EPA, *mean greedy* EPA, *mean greedy* WF dan *greedy* WF.



Gambar 5. (a) Perubahan *average user throughput* sistem pada jumlah *user* bervariasi (b) Perubahan *average user throughput* pada jarak *user* bervariasi

Pada skenario pertama dilakukan variasi jumlah *user* mulai dari 50-150 dengan kenaikan 10 *user* dan cakupan *cell* sebesar 250 meter. Didapatkan nilai *average user throughput* mengalami penurunan rata-rata sebesar 131.92 kbps apabila menggunakan skema *greedy WF* dibandingkan dengan *greedy EPA*, sedangkan pada skema *mean greedy WF* mengalami penurunan rata-rata sebesar 21.45 kbps dibandingkan dengan *mean greedy EPA*. Nilai *average user throughput* pada skema Equal power lebih tinggi dibandingkan dengan skema *waterfilling*, hal ini dikarenakan penggunaan *waterfilling* pada tugas akhir ini yang memiliki prinsip “Giving to the poor” yang artinya mengalokasikan daya relatif lebih besar kepada *user* yang mengalami noise tinggi dibandingkan *user* yang mengalami noise rendah.

Pada skenario kedua dilakukan variasi jarak *user* mulai dari 200 meter sampai 800 meter dengan kenaikan 50 meter dan jumlah *user* sebanyak 50. Didapatkan nilai *average user throughput* mengalami penurunan rata-rata sebesar 239.29 kbps apabila menggunakan skema *greedy WF* dibandingkan dengan *greedy EPA*, sedangkan pada skema *mean greedy WF* mengalami penurunan sebesar 287.06 kbps dibandingkan dengan *mean greedy EPA*. Dari grafik dapat dilihat bahwa skema equal power berada diatas skema *waterfilling*, baik pada algoritma *greedy* maupun *mean greedy*. Hal tersebut dikarenakan pada skema *waterfilling*, *user* yang memiliki nilai SNR yang relatif lebih tinggi sebagian dayanya akan dialokasikan pada *user* yang memiliki SNR yang lebih rendah sehingga *average user throughput* akan mengalami penurunan dibandingkan dengan skema *equal power*.

3.4. Time Complexity

Selain berhasil sesuai dengan keinginan, suatu algoritma harus efisien. Setiap algoritma membutuhkan waktu yang berbeda dalam menyelesaikan suatu permasalahan. Urutan setiap proses harus diperhatikan untuk mendapatkan *time complexity* dari setiap algoritma. Pada tugas akhir ini skema algoritma *greedy equal power*, *mean greedy equal power*, *greedy waterfilling* dan *mean greedy waterfilling* digunakan untuk mengalokasikan RB dan daya kepada *user*.

Skema	Proses Total Komplexitas			Total
	Inisiasi	Algoritma penlokasian RB	Waterfilling Power Allocation	
Greedy-EPA	$O(NV)$	$O(NV)$	-	$O(NV)$
Mean greedy-EPA	$O(NV)$	$O(NV)$	-	$O(NV)$
Greedy-WF	$O(NV)$	$O(NV)$	$O(NV)$	$O(NV)$
Mean greedy-WF	$O(NV)$	$O(NV)$	$O(NV)$	$O(NV)$

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi didapat beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pada algoritma *greedy* jika menggunakan skema *waterfilling* didapatkan penurunan rata-rata nilai *average user throughput* dibandingkan dengan skema *equal power* mencapai 131.92 kbps, sedangkan pada algoritma *mean greedy* jika menggunakan skema *waterfilling* didapatkan penurunan rata-rata nilai *average user throughput* sebesar 21.45 kbps.
2. Dengan menggunakan skema *waterfilling* didapatkan penurunan nilai efisiensi spektral pada algoritma *greedy* dan *mean greedy* dibandingkan dengan skema *equal power*. Pada algoritma *greedy* penurunan sebesar 2.35 bps/Hz sedangkan pada algoritma *mean greedy* penurunan sebesar 0.39 bps/Hz.

3. Dengan menggunakan skema *waterfilling* didapatkan kenaikan nilai *fairness* sistem pada algoritma *greedy* dan *mean greedy* dibandingkan dengan skema *equal power*. Pada algoritma *greedy* kenaikan sebesar 5.2% sedangkan pada algoritma *mean greedy* penurunan sebesar 1.56%.
4. Skema *greedy* EPA, *mean greedy* EPA, *greedy* WF dan *mean greedy* WF didapatkan *time complexity* yang sama yaitu sebesar $O(NV)$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. S. W. Prabowo, A. Muayyadi dan A. Fahmi, "Modifikasi Algoritma Proportional Fair pada Sistem LTE Advance dengan Carrier Aggregation Menggunakan Pengelompokan User," dalam *Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, Yogyakarta, 2015.
- [2] S. Sadr, Anpalagan dan R. Kaamran, "Radio Resource Allocation Algorithm for the Downlink of Multiuser OFDM Communication System," vol. 11, 2009.
- [3] H. Moon, "Waterfilling Allocation at High SNR Regimes," dalam *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, 2011.
- [4] S. Najeh, H. Besbes dan Bouallegue, "Greedy Algorithm for Dynamic Resource Allocation in Downlink of OFDMA System," Tunis, 2006.
- [5] S. M. Sari, "Simulasi dan analisis algoritma pengalokasian resource block berbasis QOS guaranteed pada sistem Long term Evolution," Bandung, 2015.
- [6] Maulidawati, "Analisis Perbandingan Alokasi Subcarrier Berbasis Algoritma Greedy dan Round Robin Pada Jaringan LTE Arah Downlink," Bandung, 2016.
- [7] A. Fahmi, M. Asvial dan D. Gunawan, "Uplink resource allocation algorithm with fractional power control as power constraints for ofdma system," *TENCON*, pp. 592-596, 2011.
- [8] V. S. Prabowo, *Radio Resources Allocation Based-on Energy Saving for LTE-Advanced System*, Bandung, 2016.
- [9] A. F. Molish, *Wireless Communications*, California, 2011.
- [10] T. Dikamba, *Downlink Scheduling in 3GPP Long Term Evolution (LTE)*, Delft:Delft University of Technology, 2011.
- [11] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2002.
- [12] K. Rosen, *Discrete Mathematics and Its Applications 7th Edition*.
- [13] Anritsu, *3rd Generation Partnership Project, LTE Resource Guide*.