

ANALISIS PENGGUNAAN ALGORITMA *REWEIGHT MESSAGE PASSING* BERBASIS ALOKASI SUMBER DAYA RADIO UNTUK JARINGAN SISTEM KOGNITIF

(ANALYSIS OF THE USAGE *REWEIGHT MESSAGE PASSING* ALGORITHM BASED ON RESOURCES ALLOCATION RADIO FOR COGNITIVE RADIO NETWORK)

Raja Zufar Abdillah¹, Dr. Nachwan Mufti Adriansyah, S.T., M.T. ², Vinsensius Sigit Widhi Prabowo, S.T., M.T.³

Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom,
Jl. Telekomunikasi No. 1, Bandung, Jawa Barat 40257

¹rajazufara@student.telkomuniversity.ac.id, ²nachwanma@telkomuniversity.ac.id,
³@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dewasa ini, teknologi mengalami perkembangan yang sangat pesat terutama dalam bidang telekomunikasi. Pemanfaatan telekomunikasi terutama dalam sektor radio kognitif. *Cognitive Radio Network* (CRN) atau jaringan kognitif radio hadir sebagai solusi peningkatan pemanfaatan sumber daya alokasi. Penelitian jaringan kognitif radio berfokus pada alokasi sumber daya dengan menggunakan alokasi *resource* yang dioptimalkan. Masalah utama ialah menangani permintaan jaringan seluler, dengan meminimalisir *maintenance*, penggunaan daya yang rendah serta *interference* yang kecil untuk mendapatkan nilai yang maksimal dan memfokuskan pada nilai *data rate* yang tinggi agar mencapai performa terbaik.

Cognitive Radio Network dikembangkan karena *primary user* (PU) dan *secondary user* (SU) tidak perlu menggunakan medium untuk saling berkomunikasi satu sama lain. Konsep ini sangat berguna untuk masa depan meskipun memiliki masalah dalam hal interferensi yang dihasilkan dari PU dan SU karena dalam satu sel yang sama. Hal ini dapat menyebabkan performa *Quality of Service* (QoS) dalam CRN. Oleh sebab itu, dibutuhkan alokasi *resource* yang dapat meningkatkan performa QoS seperti meminimalisir *data rate*, *fairness*, serta interferensi yang rendah. Maka, digunakan algoritma *Reweight Message Passing* (ReMPPA) untuk mendukung performansi tersebut.

Algoritma *Reweight Message Passing* dalam tugas akhir ini dapat menjadi solusi untuk PU dan SU dengan hasil menghasilkan performansi yang lebih baik dibandingkan algoritma *random* dan *meangreedy*.

Kata Kunci : *Cognitive Radio Network* , Algoritma *Reweight Message Passing*, PU, SU.

Abstract

Today, technology is experiencing very rapid development, especially in the field of telecommunications. Utilization of telecommunications, especially in the cognitive radio sector. Cognitive Radio Network (CRN) or radio cognitive networks exist as a solution to increase the use of resource allocation. Radio cognitive network research focuses on resource allocation using optimized resource allocation. The main problem is handling cellular network requests, by minimizing maintenance, low power usage and small interference to get maximum value and focusing on high data rate values in order to achieve the best performance.

Cognitive Radio Network was developed because primary users (PU) and secondary users (SU) do not need to use the medium to communicate with each other. This concept is very useful for the future even though it has problems in terms of interference resulting from PU and SU because in the same cell. This can cause Quality of Service (QoS) performance in CRN. Therefore, resource allocation is needed that can improve QoS performance such as increasing data rate, power usage and low interference. Then, the *Reweight Message Passing* (ReMPPA) algorithm is used to support this performance.

Algoritma *Reweight Message Passing* in this final project can be a solution for PU and SU with the result of producing better performance than random algorithm and *meangreedy*.

Keywords: *Cognitive Radio Network*, Algoritma *Reweight Message Passing*, PU, SU.

1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi telekomunikasi pada saat ini perlu layanan yang dapat memberi kebutuhan dan membantu pekerjaan manusia. Alokasi spektrum frekuensi menjadi salah satu contoh dan menjadi perhatian penting, karena dalam spektrum frekuensi, data dapat diperoleh dengan semakin tingginya kecepatan data (*data rate bps*) diimbangi dengan besar interval yang didapatkan.

Meningkatnya permintaan aplikasi nirkabel membuat spectrum frekuensi sangat sulit untuk diatur dan pemanfaatannya sering tidak dialokasikan dengan efisien sehingga membuat banyak spectrum frekuensi yang tidak terpakai [1]. Untuk mengatasi masalah ini dibutuhkan mekanisme baru yang dapat melakukan manajemen sumber daya yang lebih fleksibel agar sumber daya spektrum frekuensi dapat digunakan SU ketika PU tidak sedang menggunakan spektrum frekuensi tersebut. Konsep *Cognitive Radio Network* (CRN) diharapkan bisa memecahkan masalah tersebut.

CRN pertama kali diperkenalkan oleh Joe Mitola dalam pekerjaan tesisnya [2]. *Cognitive Radio Network* (CRN) adalah sistem telekomunikasi nirkabel cerdas yang dapat menyesuaikan keadaan lingkungan sekitar yang dapat melakukan proses komunikasi dengan parameter transmisi (pita frekuensi, modulasi, dan daya transmisi) secara realtime. Apabila ditemukan kanal kosong (spektrum yang sedang tidak digunakan oleh PU) maka spektrum tersebut dapat digunakan oleh SU untuk mentransmisikan informasi dengan terlebih dahulu melakukan tahap penyesuaian. Dengan ini tujuan CRN diharapkan dapat mencapai komunikasi nirkabel yang andal serta meningkatkan pemanfaatan spectrum frekuensi [3].

Dalam Tugas Akhir ini penulis berencana meneliti bagaimana kanal dalam PU dapat bertransmisi dengan baik. Tentunya apabila kanal PU tidak berjalan dengan semestinya akan dipindahkan ke SU dengan parameter dari sisi interferensi, *data rate*, dan *signal to interference noise ratio* (SINR) untuk meningkatkan *Quality of Service* (QoS). Untuk mengatasi masalah yang sudah diuraikan, penulis menerapkan metode algoritma *Reweight Message Passing* dalam program Matlab untuk memaksimalkan CRN dan alokasi sumber daya yang bertujuan meningkatkan efisiensi kerja SU [4]. Hasil yang didapat nantinya akan dibandingkan dari setiap algoritma dengan parameter performansi *data rate* rata-rata, *fairness*, efisiensi spektral dan efisiensi energi dengan menambah jumlah user.

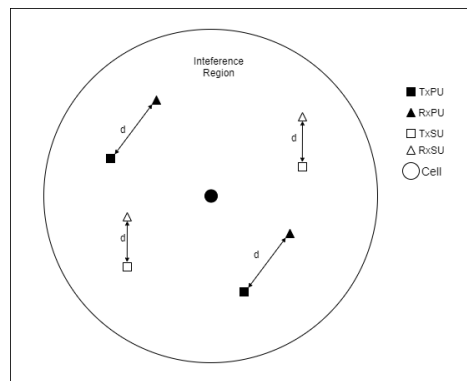
2. Konsep Dasar

2.1. *Cognitive Radio Network* (CRN)

Istilah *Cognitive Radio* (CRN) pertama kali diperkenalkan oleh Mitola [2], CRN didefinisikan sebagai sistem radio yang memahami konteks keberadaan dalam suatu lingkungan komunikasi, yang bisa mengatur parameternya secara optimal dalam melakukan proses komunikasi. Sebuah radio cerdas yang menjadi istilah sederhana untuk mengartikan apa itu *cognitive radio* yang sampai sekarang dipakai para peneliti di seluruh dunia.

Dalam jaringan CRN hanya spektrum radio Primary User (PU) yang memiliki lisensi [8] dan spektrum Secondary User (SU) menggunakan pemanfaatan spektrum yang tersisa atau tidak terpakai dan pada saat yang sama kekuatan transmisi Secondary User (SU) menyebabkan gangguan pada Primary User (PU). Oleh karena itu, jaringan Secondary User (SU) harus dirancang dengan cara mengalokasikan sumber daya radionya untuk memenuhi persyaratan kualitas layanannya sendiri (QoS), serta memastikan bahwa interferensi yang disebabkan oleh pengguna utama berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Fungsi utama jaringan CRN adalah penginderaan spektrum dan eksploitasi spektrum yang tersedia dengan menyesuaikan parameter transmisi seperti alokasi frekuensi dan daya transmisi.

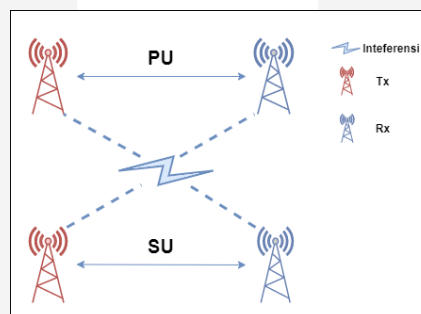
2.2. Alokasi Sumber Daya



Gambar 1. Alokasi Sumber Daya

Dalam tugas akhir ini, penulis mengusulkan skema alokasi sumber daya baru (Resources Allocation) untuk jaringan radio kognitif (CRN). Dalam pendekatan tersebut, kami fokus pada skema penugasan sub-saluran yang efisien, dan performansi, dengan pengirim SU (TxSU) dan penerima SU (RxSU) yang mengakses spektrum berlisensi dari pengirim PU (TxPU) dan penerima PU (RxPU). Dengan menggunakan *Reweight Message Passing Algorithm* (ReMPA), Random, dan Mean Greedy. Nilai *data rate* yang dihasilkan dari perhitungan nantinya akan di alokasikan menggunakan tiga algoritma sebelumnya.

Oleh karena itu, model sistem CRN memiliki sel yang untuk mengoptimasi sistem model, yang rentangnya adalah diwakili oleh d dimana kekuatan SU tidak dapat melebihi *threshold* (th) tertentu. Karena kekuatan transmisi PU juga dibawah batas daya total yang sama, penerima PU di area seperti itu yang dipusatkan oleh PU atau tidak ada *Evolve Node-B* (eNB) karena PU seolah-olah sebagai pemancar dan penerima lalu dapat mendapatkan sinyal yang telah dikirim oleh TxPU. Syaratnya ialah SU mendapatkan slot kosong yang mana dapat mendeteksi TxPU tujuannya untuk dialokasikan tetapi dalam 1 kanal. Ketika penerima PU terletak didaerah diluar *cell* yang diilustrasikan, SU tidak akan mengganggu penerima PU bahkan jika th terlampaui karena PU sebagai pilihan utama bagi *user*.



Gambar 2. Crossover PU & SU

Dalam Gambar 2.3 TxPU dan RxPU saling memancarkan sinyal transmisi satu sama lain begitu pula dengan TxSU dan RxSU yang memancarkan sinyal satu sama lain juga. Dalam alokasi sumber daya yang penulis lakukan adalah pencari nilai *crossover* atau nilai penyilangan antara TxPU dan RxSU serta TxSU dan RxPU sehingga didapatkan nilai *data rate* dari masing-masing hasil. Nantinya, hasil tersebut dialokasi menggunakan algoritma ReMPA dan algoritma perbandingan lainnya.

3. Perancangan Sistem

3.1. Model Sistem

Dalam sistem model tugas akhir memiliki parameter 1800 MHz, dengan *bandwidth* kanal 180 KHz. Memiliki diameter *radius cell* 500 meter dengan satu lingkup *cell* yang didalamnya terdapat TxPU, RxPU, TxSU, dan RxSU dengan jarak yang telah ditentukan tiap perangkat. Tiap komponen di didalam *cell* tersebar secara serta mengetahui posisi masing - masing dari tiap user dan user dianggap tidak bergerak pada satu kali pengamatan.

Pemodelan sistem dilakukan dengan scenario arah transmisi dimana TxPU melakukan *broadcast* sinyal ke arah RxPU begitu juga sebaliknya dan perangkat melakukan komunikasi seperti pada gambar 2.3 Oleh karena itu, SU hanya mengalami intereferensi dari PU dan sebaliknya. Tugas akhir ini menggunakan skenario dimana TxPU bisa bertransmisi terhadap TxSU dan TxSU bisa bertransmisi terhadap RxPU dengan meminimalisir intereferensi yang terjadi setelahnya. Untuk melakukan itu *resources block* (RB) dipasangkan dengan PU dan SU yang dimana $RB > SU$ untuk mencari nilai SNR sehingga dihasilkan suatu outputan yang dapat menggantikan nilai SINR yang kosong dan RB hanya dapat berbagi nilai dengan satu pasang PU. Adapun parameter simulasi yang akan menjadi dasar simulasi pada tugas akhir ini seperti pada Tabel 3.1.

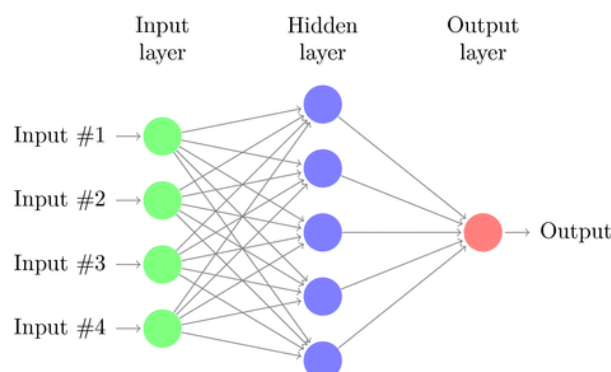
Tabel 1. Parameter Simulasi Sistem

Parameter	Nilai
Bandwidth kanal	180 kHz
Jumlah RB per TTI	50 RB
Jumlah TTI per pengamatan	1000 TTI
Jari-jari sel	500 meter
Layout sel	Single sel OFDMA
Frekuensi carrier	1800 MHz
Daya Noise	-174 dBm
Power transmit	21 dBm
Jumlah user PU	50 User
Jumlah user SU	50 User
Jumlah user SU Skenario Satu	25 – 50 (5 User tiap kenaikan)
Jarak User SU Skenario Dua	25 – 50 meter (5 meter tiap kenaikan)

Paramater pada tabel 3.1 menunjukan bahwa jumlah user yang mengalami kenaikan ialah user SU dikarenakan pada simulasi Tugas Akhir ini penulis dilakukan dengan skenario memvariasikan jumlah user dalam satu *cell* dan jarak user SU.

3.2. Pemakaian Algoritma Reweight Message Passing

Algoritma Reweight Message Passing sama halnya seperti Greedy tetapi yang membedakan dari algoritma ini merupakan inputan dari beberapa alokasi sumber daya, ReMPA menjadi outputan dari Greedy PU, Greedy SU, MinGreedy, dan MaxGreedy.



Gambar 3. Algoritma ReMPA

Diasumsikan bahwa *input layer* merupakan hasil alokasi Greedy PU, Greedy SU, Greedy Max, dan Greedy Min. ada 2 jenis ReMPA yang dipakai untuk alokasi ini diantaranya:

- a. ReMPA Sumrate: Nilai yang dipakai dalam *input layer* pada ReMPA Sumrate adalah sumrate dari 4 alokasi diatas setelah itu hidden layer akan mensortir nilai terbesar dari keempat nilai sumrate dan menghasilkan ouput nilai sumrate.

Tabel 2. *Shadow Code Alogritma ReMPA Sumrate*

Algoritma (4): Alokasi Menggunakan <i>ReMPASumrate</i>
<p>Input: M = Pengulangan Sumrate {Greedy PU, Greedy SU, Min Greedy, Max Greedy}</p> <p>Output: sumrate_ReMPASumrate_TTI dan MX</p> <p>MP ← M</p> <p>[row,col] ← size(M)</p> <p>MX ← zeros (row,col)</p> <p>for i ← 1: row do</p> <p> x ← max(max(MP))</p> <p> [r,c] ← find(MP==x)</p> <p> MP(r,:) ← 0</p> <p> MX(r,c) ← M(r,c)</p> <p>end</p> <p>Return sumrate_ReMPASumrate_TTI= sum(MX,2);</p>

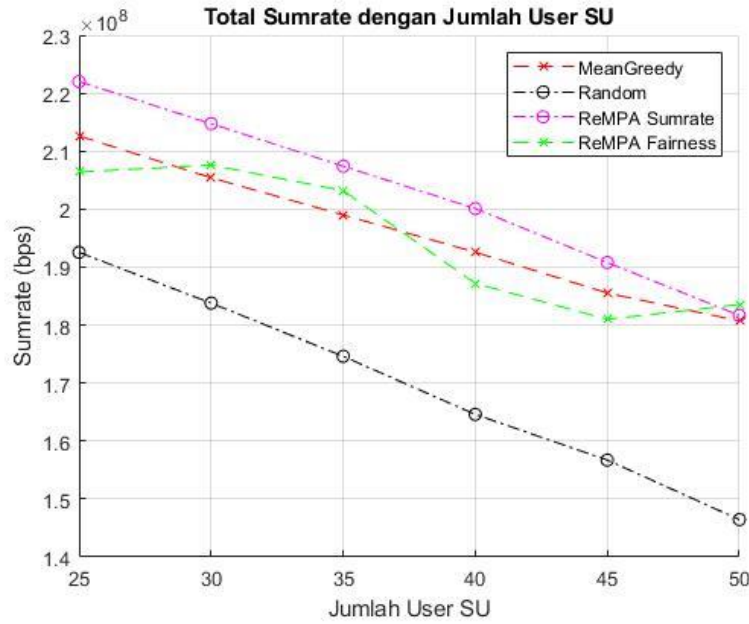
- b. ReMPA Fairness: Sama halnya seperti ReMPA Sumrate, nilai inputan yang dipakai di alokasi ini ada hasil fairness dari 4 alokasi greedy dan pada hidden layer di sorting nilai terbesar sehingga menghasilkan output nilai fairness.

Tabel 3. *Shadow Code Alogritma ReMPA Fairness*

Algoritma (4): Alokasi Menggunakan <i>ReMPAFairness</i>
<p>Input: M = Pengulangan Fairness {Greedy PU, Greedy SU, Min Greedy, Max Greedy}</p> <p>Output: sumrate_ReMPASumrate_TTI dan MX</p> <p>MP ← M</p> <p>[row,col] ← size(M)</p> <p>MX ← zeros (row,col)</p> <p>for i ← 1: row do</p> <p> x ← max(max(MP))</p> <p> [r,c] ← find(MP==x)</p> <p> MP(r,:) ← 0</p> <p> MX(r,c) ← M(r,c)</p> <p>end</p> <p>Return sumrate_ReMPASumrate_TTI = sum(MX,2)</p>

4. Hasil dan Analisis

4.1. Skenario Satu Penambahan Jumlah User SU



Hasil pengujian sum rate dilakukan menggunakan formulasi pada Persamaan 2.7. Sistem sum rate akan turun apabila jumlah user semakin banyak dikarenakan semakin banyak user semakin banyak interfeferensi yang akan terjadi antar user sehingga nilai sum rate akan semakin kecil. Performansi sum rate ini sangat penting karena menentukan kualitas dari suatu layanan komunikasi dan dibutuhkan untuk mencari parameter performansi lainnya. Algoritma ReMPA Sumrate memiliki nilai sum rate yang lebih unggul dari ketiga algoritma lainnya yaitu ReMPAFairness, Greedy kemudian diikuti oleh algoritma Random Allocation. Algoritma ReMPA memiliki nilai sum rate yang lebih unggul dari ketiga algoritma pembandingnya karena mengalokasikan nilai data rate paling maksimum dan terbaik dengan memperhatikan bobot pada tiap link komunikasi terlihat seperti pada Gambar 4.1, dimana proses mendapatkan nilai sum rate dimulai dari penyebaran user secara acak, kemudian perhitungan jarak antar node arah uplink seperti jarak TxPU terhadap RxPU, TxPU terhadap RxSU, TxSU terhadap TxPU, dan TxSU terhadap RxSU, setelah itu dilakukan perhitungan rugi-rugi sinyal (pathloss) yang dikonversi menjadi gain agar dapat memperhitungkan link SINR antar user dan terakhir didapatkan hasil data rate untuk dialokasi oleh masing-masing algoritma.

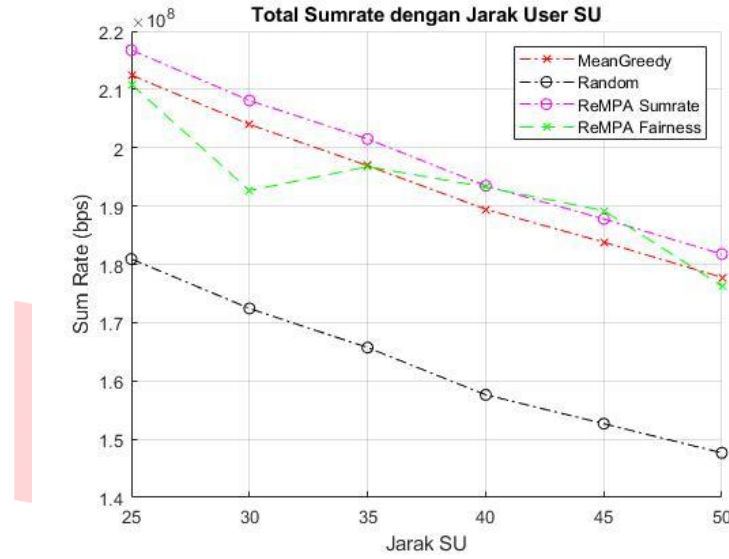
Tabel 4.Perbandingan sum rate Skenario 1.

Jumlah SU	Sumrate (x 10 ⁸ bps)			
	ReMPA Sumrate	ReMPA Fairness	Random	MeanGreedy
25	2.2171641	2.0987029	1.9209025	2.1159252
30	2.1447469	2.0561672	1.8322622	2.0530095
35	2.0638372	2.0967840	1.7408021	1.9770721
40	1.9930677	1.8064173	1.6451329	1.9172883
45	1.9016407	1.8630656	1.5545522	1.8527238
50	1.8106346	1.8382685	1.4604877	1.8011685
Rata-rata	2.13800273	1.8402713	1.8315572	2.06106513

Tabel 4.1 adalah data yang diperoleh dari Gambar 4.1. Nilai dari data rate total yang telah dialokasi oleh algoritma masing-masing. Data rate pada algoritma ReMPASumrate mentransmisikan data rate lebih tinggi

yaitu sebesar 2.13800273 bps dibandingkan ketiga algoritma ReMPAFairness 1.8402713 bps, MeanGreedy sebesar 2.06106513 bps dan Random Allocation sebesar 1.8315572bps.

4.2. Skenario Satu Penambahan Jarak User SU



Sumrate merupakan banyaknya jumlah informasi yang dapat dikirimkan dalam waktu satu detik. Perhitungan sum rate menggunakan persamaan (2.5) dengan parameter berdasarkan tabel 3.1. Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa untuk setiap bertambahnya jarak pasangan SU, nilai sum rate pada beberapa algoritma mengalami penurunan nilai, hal ini dipengaruhi oleh pathloss dengan persamaan (2.1) dimana setiap bertambahnya jarak antara pengirim dan penerima maka pathloss akan bertambah, sehingga mendapatkan nilai data rate yang semakin rendah kecuali untuk ReMPA Fairness, algoritma ReMPA Fairnes bergerak naik turun karena merupakan cerminan nilai alokasi nilai fairness menjadikan algoritma ini tidak terlalu bergantung dengan jarak dari pasangan SU.

Tabel 4.Perbandingan sum rate Skenario 1.

Jumlah SU	Sum Rate (x 10 ⁸ bps/Hz)			
	ReMPA Sumrate	ReMPA Fairness	Random	MeanGreedy
25	2.1674171	2.1089361	1.809048	2.12457071
30	2.0810521	1.9265303	1.724230	2.03997657
35	2.0150031	1.9676017	1.657178	1.96913475
40	1.9347590	1.9324409	1.576130	1.89439635
45	1.8777671	1.8920332	1.526585	1.83789875
50	1.8174994	1.7627892	1.476398	1.77758796
Rata-rata	1.9822496	1.9317219	1.628261	1.94059418

Pada grafik menunjukkan bahwa ReMPA Sumrate berada diatas Mean Greedy, ReMPA Fairness dan Random hal ini disebabkan karena pengambilan nilai ReMPA Sumrate diambil dari nilai terbesar setiap alokasi dibandingkan dengan algoritma lain.

5. Kesimpulan

- a. Algoritma ReMPA Sumrate terbukti dapat memaksimalkan hasil sumrate simulasi pada skenario satu dengan nilai 2.13800273 bps. Tetapi, dalam skenario satu performansi fairness ReMPA Sumrate 0,7531081 masih kurang dari nilai algoritma pembandingan MeanGreedy 0,769914992 tetapi tidak lebih buruk dari algoritma Random 0,733483 dan ReMPA Fairness memiliki nilai yang jauh diantara tiga algoritma lainnya dengan nilai 0,8702341. Karena ReMPA Fairness mengalokasi nilai terbesar dari nilai fairness Greedy PU dan MeanGreedy.
- b. Efisiensi Spektral pada skenario satu diungguli oleh ReMPA Sumrate dengan nilai hasil simulasi 3.2257837×10^4 bps/Hz diikuti dengan algoritma MeanGreedy sebesar 3.1100377×10^4 , ReMPAFairness dengan nilai 3.0883092×10^4 bps/Hz terkecil sebesar 2.716948×10^4 bps/Hz dengan algoritma Random Allocation.
- c. Dalam Efisiensi Energi pada skenario satu Algoritma ReMPAFairness selalu unggul dalam efisiensi energi karena pengaruh dari hasil sum rate yang lebih besar dibandingkan yang lainnya dengan nilai rata-rata sebesar 2.3553773×10^8 kbps/Watt diikuti dengan algoritma MeanGreedy sebesar 2.27388165×10^8 kbps/Watt dan ReMPA Fairness sebesar 2.2596438×10^8 kbps/Watt serta yang tekecil sebesar 1.976950×10^8 kbps/Watt yang merupakan hasil simulasi algoritma Random Allocation.
- d. Pada skenario dua yaitu dengan mengatur variasi jarak user SU menghasilkan nilai sum rate rata-rata algoritma ReMPA Sumrate 1.9822496×10^4 bps. Performansi fairness rata-rata algoritma ReMPA Fairness memiliki nilai 0,9686888 lebih baik dibandingkan algoritma ReMPA Sumrate dan dua algoritma pembandingan Random dan MeanGreedy.
- e. Efisiensi Spektral pada skenario 2 didapatkan ReMPA Sumrate mendapatkan nilai terbaik dengan 2.2024995 bps/Hz disusul dengan ReMPA Fairness 2.1463577 bps/Hz dilanjutkan dengan algoritma pembandingan Random dan MeanGreedy 1.8091798 dan 1.81621966 bps/Hz. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan ReMPA Fairness lebih baik dibandingkan dengan penggunaan Random dan Mean Greedy tetapi tidak lebih baik dibandingkan dengan ReMPA Sumrate pada skenario perubahan jumlah jarak user SU.
- f. Efisiensi energi pada skenario 2 dengan algoritma pembandingan Random memiliki nilai rata-rata sebesar 1.6282618 Kbps/W dilanjut dengan ReMPA Fairness 1.9317219 Kbps/W dan Mean Greedy 1.9405941 Kbps/W serta ReMPA Sumrate 1.9822496 Kbps/W yang menjadi nilai terbaik dalam hal efisiensi energi.
- g. Terlihat pada performansi sum rate, efisiensi spectral, dan efisiensi energy hasil simulasi pada skenario satu dengan variasi jumlah SU ReMPA Sumrate lebih dominan dibandingkan dengan algoritma lainnya dan juga pada skenario dua dengan variasi jarak user SU ReMPA Sumrate memiliki nilai lebih baik dibandingkan ReMPA Fairness, Random, dan Mean Greedy. Tetapi untuk performansi fairness, ReMPA Fairness menghasilkan nilai rata-rata lebih baik dibandingkan dengan algoritma lainnya baik dalam skenario satu maupun skenario dua.

Daftar Pustaka

- [1] P. Kaur, "Cognitive Radios : Need , Capabilities , Standards , Applications and Research Challenges," vol. 30, no. 1, pp. 31–38, 2011.
- [2] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13–18, 1999, doi: 10.1109/98.788210.
- [3] A. Preet, A. Kaur, and S. Sahib, "Review paper on cognitive radio networking and communications," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 4, pp. 5508–5511, 2014.
- [4] M. Zhang, G. Zhang, S. Zhang, and Z. Bao, "An optimized resource allocation algorithm in cooperative relay cognitive radio networks," *2017 Signal Process. Symp. SPSympo 2017*, 2017, doi: 10.1109/SPS.2017.8053667.
- [5] J. Walko, "Cognitive radio," *IEE Rev.*, vol. 51, no. 5, pp. 34–37, 2005, doi: 10.1049/ir:20050504.
- [12] S. Najeh, H. Besbes, and A. Bouallègue, "Greedy algorithm for dynamic resource allocation in downlink of OFDMA system," *2nd Int. Symp. Wirel. Commun. Syst. 2005, ISWCS 2005 - Conf. Proc.*, vol. 2005, pp. 475–479, 2005, doi: 10.1109/ISWCS.2005.1547746.
- [13] V. S. W. Prabowo, A. Fahmi, and D. Perdana, "Modified mean greedy allocation algorithm in OFDMA system with carrier aggregation," *Adv. Sci. Lett.*, vol. 23, no. 5, pp. 3939–3943, 2017, doi: 10.1166/asl.2017.8285.

