

ANALISIS PERFORMANSI ALGORITMA QoS AWARE RESOURCE ALLOCATION UNTUK SISTEM KOMUNIKASI DEVICE TO DEVICE
PERFORMANCE ANALYSIS OF QoS AWARE RESOURCE ALLOCATION ALGORITHM FOR DEVICE TO DEVICE COMMUNICATION SYSTEMS

Sarah Dhia Amani¹, Nachwan Mufti A.², Vinsensius Sigit W. P.³

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

¹sarahdhiaamani@student.telkomuniversity.ac.id, ²nachwanma@telkomuniversity.co.id,

³vinsensiusvsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi *Information and Communication Technology* (ICT) yang semakin cepat membuat komunikasi kini bisa semakin lebih mudah, cepat, dan efektif diiringi dengan peningkatan jumlah pengguna seluler yang menyebabkan kepadatan trafik komunikasi dalam jaringan seluler juga semakin meningkat. Untuk mengatasi kepadatan trafik komunikasi dalam jaringan seluler tersebut penelitian ini mengusulkan penggunaan komunikasi *Device-to Device* (D2D). Komunikasi D2D ialah salah satu fitur dalam teknologi 5G yang membuat komunikasi dapat dilakukan langsung antara dua pengguna ponsel tanpa melalui *evolved Node B* (eNB) sehingga bisa menurunkan kepadatan trafik komunikasi, meningkatkan efisiensi energi, dan meningkatkan efisiensi spektral. Penelitian ini melakukan pemodelan dan analisis menggunakan algoritma heuristik *QoS-Aware Resource Allocation* (QARA) untuk mengalokasi kanal dan pemilihan mode komunikasi agar dapat meningkatkan *throughput* untuk pengguna komunikasi D2D, dan menjamin QoS dari pengguna komunikasi seluler dan komunikasi D2D. Dari data dan hasil yang didapatkan bisa disimpulkan bahwa Algoritma QARA untuk komunikasi D2D memiliki hasil lebih baik dari Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random*. Hal ini ditandai dengan hasil analisis yang menghasilkan parameter performansi yang lebih baik pada hal *sum rate*, *spectral efficiency*, *throughput*, dan *energy efficiency*.

Kata Kunci : *Device-to-Device (D2D), QoS-Aware Resource Allocation (QARA) algorithm, Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR), Throughput.*

Abstract

The development of Information and Communication Technology is fast or making communication can now be easier, faster and more effective and is accompanied by the increase in the number of cellular users which causes the increase in communication traffic at cellular networks. To overcome the increase in communication traffic at cellular networks this research proposes the uses of the Device-to-Device (D2D) communication system. D2D communication is one of the features in 5G technology, where communication is directly between two mobile users instead of going through the evolved Node B (eNB) such that it can reduce communication traffic densit, improve energy efficiency, improve spectral efficiency. This research models and evaluates the QoS-Aware Resource Allocation (QARA) heuristic algorithm for channel allocation and communication mode selection to increases throughput for users of D2D communication, and ensures QoS for cellular communication users and D2D communications. From the data and results obtained, it can be concluded that the QARA algorithm for D2D communication has better results than the Greedy algorithm and the Random Algorithm. This is indicated by the results of the analysis which produce better performance parameters such as sum rate, spectral efficiency, throughput, and energy efficiency.

Keywords: *Device-to-Device (D2D), a QoS-Aware Resource Allocation (QARA) algorithm, Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR), Throughput.*

1. Pendahuluan

Komunikasi *Device to Device* (D2D) adalah salah satu fitur dalam teknologi 5G yang membuat komunikasi dapat dilakukan langsung antara dua pengguna ponsel tanpa melalui *evolved Node B* (eNB) sehingga bisa menurunkan kepadatan trafik komunikasi, lebih menghemat energi, meningkatkan efisiensi spektral. Dari cara kerja komunikasi secara garis besar terdapat dua *user* yaitu D2D *user* dan *cellular user* (CU). CU adalah *user* yang masih membutuhkan *base station* untuk meneruskan informasi yang akan dikirimkan dari kanal pengirim ke kanal penerima. Dalam pengiriman informasi pada sistem D2D menggunakan frekuensi dan kanal yang sama maka terjadilah interferensi antara CU dan D2D *user*. Untuk meningkatkan efisiensi spektral pengguna D2D bisa dilakukan dengan cara membagi sumber daya spektrum, hal ini juga mengakibatkan adanya interferensi antara CU dan D2D *user*, masalah *resource allocation* yang diformulasikan menjadi sebuah masalah pemrograman

nonlinier integer untuk memaksimalkan jumlah D2D *pair* dengan kebutuhan QoS yang sudah sesuai dan penguatan *throughput* pada sistem [1].

Dalam [2], sumber daya spektrum dipresentasikan dalam bentuk *Resource Block* (RB) dan *power control* digunakan untuk mengurangi interferensi saat RB dapat dialokasikan ke D2D *user* yang berbeda dan D2D *user* mendapatkan RB yang berbeda. Menurut [3], pendekatan berbasis grafik diusulkan untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan kinerja sistem dengan *communication links* untuk CU dan D2D *user*. Menurut [4] skema *social-communication-aware resource allocation* ditawarkan pada komunikasi D2D. Pada [5], alokasi kanal dan pemilihan mode komunikasi diperhitungkan dalam komunikasi D2D untuk meningkatkan *throughput* untuk pengguna komunikasi D2D, dan menjamin QoS dari pengguna komunikasi selular dan komunikasi D2D. dari pernyataan di atas menunjukkan bahwa kinerja sistem yang baik dapat dicapai dengan menggunakan skema *resource allocation*.

Oleh karena itu, algoritma heuristik *QoS-Aware Resource Allocation* (QARA) digunakan untuk menemukan solusi dari masalah ini. Pada penelitian ini, dilakukan simulasi *underlaying* D2D arah *downlink* di jaringan *Long term Evolution* (LTE). Untuk membuktikan bahwa Algoritma QARA mempunyai hasil yang lebih baik maka penelitian ini juga membandingkan hasil penelitian dari penggunaan Algoritma QARA dengan Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Algoritma QARA yang diajukan dapat meningkatkan sistem *sum rate*, *efficiency spectral*, *throughput*, *efficiency energy*, dan meminimalisasi interferensi dalam satu sel yang terdapat CU dan pasangan D2D .

2. Dasar Teori

a. Channel State Information (CSI)

Channel State Information (CSI) adalah sekumpulan data dari kondisi kanal setiap *user* yang dikalikan dengan daya *Enhanced Node B* (eNB) yang berupa nilai SINR. Data dari kondisi tiap kanal informasinya dapat diperoleh dari bagaimana sinyal merambat dari pemancar ke penerima, efek dari *scattering*, difraksi, dll. CSI mempunyai dua parameter yaitu Fase kanal dan *Gain*, CSI digunakan agar sinyal yang ditransmisikan dengan *rate* yang tinggi dengan daya yang lebih besar [6]. CSI dapat dibagi menjadi dua yaitu *perfect* CSI dimana informasi kanal dapat diketahui secara sempurna oleh pengirim dan penerima. Parsial CSI yaitu informasi kanalnya tidak semuanya dapat diketahui khususnya pada sisi pengirim. Secara level CSI dibagi menjadi dua yaitu *instantaneous* CSI dan *statistical* CSI.

b. Manajemen Sumber Daya Radio untuk LTE

Sumber Daya radio untuk LTE yang perlu dimanajemen lagi pada Tugas Akhir ini antara lain yaitu *Resource Block* (RB), SINR, dan *pathloss*. RB adalah suatu blok transmisi pada OFDM yang disusun dari *domain* waktu ke domain frekuensi. Satu RB terdiri dari 12 *subcarriers* dengan masing-masing *subcarrier* sebesar 15 kHz. Bagian terkecil RB adalah *resource element* (RE). Banyaknya jumlah RB tergantung pada *bandwidth* (BW) yang digunakan. Semakin besar BW, semakin besar pula RB yang tersedia. Dengan begitu, semakin besar sistem memiliki RB, semakin besar pula maksimal *throughput* yang dihasilkan [7].

c. Pathloss

Pathloss digunakan untuk mendapatkan nilai dari SINR. Path loss itu sendiri adalah sebuah metode pengukuran rugi-rugi pada suatu transmisi sinyal yang bisa juga disebabkan oleh cuaca, kontur tanah, temperatur udara dan lainnya. Dengan adanya perhitungan *pathloss* maka akan diketahui apakah suatu sinyal yang diukur mengalami pelemahan. *Rayleigh fading pathloss* dihitung dengan

$$P = 36,7 \log_{10}(d) + 22,7 + 26 \log_{10}(f_c) \quad (1)$$

dalam satuan *decibel* (dB) dengan d adalah jarak antara dua perangkat dalam kilometer (Km), dan f_c adalah *frequency carrier* dalam GHz.

d. Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)

SINR adalah perbandingan antara daya sinyal yang diterima oleh pengguna (CU atau D2D *user*). Agar kebutuhan QoS dapat dipenuhi maka nilai daya interferensi dan daya *noise* yang terjadi harus kecil. Agar bisa didapat nilai SINR yang baik maka daya yang diterima oleh pengguna harus besar[8]. Besar SINR pada sisi penerima dapat dihitung dengan

$$Y = \frac{P}{I+N} \quad (2)$$

dengan P adalah Daya yang diterima dalam satuan *Watt* (W), I adalah daya interferensi yang terjadi dalam *Watt*, dan N adalah daya *noise* dalam satuan *Watt*.

e. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan dari kekuatan Sinyal dan kekuatan derau. SNR digunakan untuk mengukur kualitas dari sebuah sinyal yang terganggu oleh derau, SNR juga bisa dipakai untuk mengukur jalur koneksi. Makin besar nilai SNR, maka semakin besar juga kemungkinan jalur itu dipakai untuk lalu lintas komunikasi data dan sinyal dalam kecepatan tinggi. Besar SNR pada

sisi penerima dapat ditentukan dengan

$$\tau = \frac{P}{N} \quad (3)$$

dengan P adalah Daya yang diterima dalam satuan *Watt* (W) dan N adalah Daya *Noise* dalam satuan *Watt*.

f. Data Rate

Data rate merupakan data yang bisa dikirimkan dari satu lokasi ke lokasi lain dengan jumlah dan waktu tertentu. Kualitas suatu layanan komunikasi dapat ditentukan dengan nilai *data rate*. Pada penelitian ini, nilai *data rate* dapat dicari dengan menggunakan rumus Shannon capacity[1]

$$C = B \times \log_2 (1 + \gamma) \quad (4)$$

$$D = \tau \times C \quad (5)$$

dalam satuan bit per *second* (bps), B adalah *bandwidth* dalam satuan *Hertz* (Hz), γ adalah SINR, C adalah kapasitas, dan τ adalah probabilitas error.

g. Sum Rate

Sum Rate adalah total *data rate* yang dihasilkan setelah mendapatkan hasil matriks alokasi dari algoritma yang diujikan. Untuk mendapatkan nilai *sum rate* dapat dicari dengan

$$\sigma = \sum_{i=1}^n D(i, 1) \quad (6)$$

dalam satuan bit per *second* (b/s), dengan n adalah jumlah *user* dan D adalah *data rate*.

h. Fairness

Fairness adalah kesetaraan nilai *throughput* yang didapatkan pada setiap *user* dalam mendapatkan RB yang teralokasi yang bergantung pada nilai SINR. Untuk mendapatkan nilai *fairness* penelitian ini menggunakan *Jain's fairness index*. Untuk mengetahui seberapa adil algoritma yang digunakan dapat dihitung dengan [9]

$$F = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (7)$$

dengan n adalah jumlah *user* dan y_i adalah nilai *data rate* yang sudah dialokasikan.

i. Spectral Efficiency

Spectral efficiency merupakan total dari jumlah *data rate* yang dikirim dalam *bit/unit bandwidth* per total *user*. Untuk mendapatkan nilai *spectral efficiency* dapat diperoleh dengan [10].

$$\alpha = \frac{\sigma}{B \times n} \quad (8)$$

dalam (bps/Hz) dengan σ adalah total *data rate* yang sudah dialokasi, B adalah *bandwidth* dalam satuan *Megahertz* (MHz) dan n adalah jumlah *user*.

j. Energi Efficiency

Efficiency energy adalah total *data rate* yang akan ditransmisikan dalam satu *watt*. Perhitungan parameter performansi ini bertujuan untuk mengetahui jumlah energi yang dibutuhkan. Untuk mengetahui nilainya maka dapat diperoleh dengan [11].

$$\beta = \frac{\sigma}{P_t} \quad (9)$$

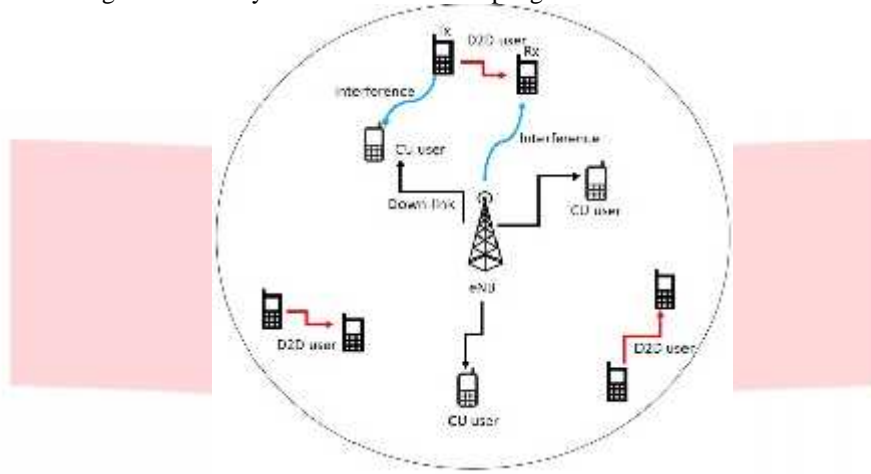
dalam satuan *bps/watt* dengan σ adalah total *data rate* yang sudah dialokasi, dan P_t adalah daya total dalam satuan *Watt*.

3. Model Sistem Dan Perancangan

a. Model Sistem

Model sistem dari sistem komunikasi D2D pada Gambar 1 yaitu, pada salah satu sistem komunikasi satu sel dimana didalamnya terdapat D2D *user* dan *Cellular User*. Prinsip kerja dari komunikasi D2D adalah D2D dapat dilakukan jika jarak antara pengguna D2D *user* berdekatan, jika tidak maka akan membutuhkan bantuan BS untuk

mentransmisikan data. Pada penelitian ini diasumsikan pasangan D2D memakai lebih dari satu sumber daya spektrum CU dan sumber daya *spectrum* setiap CU dapat dibagi dengan beberapa pasangan D2D. saat *down-link* CU dapat menerima interferensi dari pengguna D2D karena menggunakan sumber daya spektrum yang sama. Menggunakan frekuensi carrier 1,8 GHz, radius cell 500 m, jarak maksimal antar pasangan D2D adalah 30 m dan bandwidth RB sebesar 180 KHz. Setiap *user* tersebar secara acak dan eNB mengetahui posisi setiap *user* dimana *user* dianggap tidak bergerak dan hanya dilakukan satu kali pengamatan.



Gambar 1. Sistem komunikasi D2D pada satu sel.

Parameter simulasi yang digunakan selama penelitian dan diterapkan pada semua algoritma dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter simulasi yang digunakan pada semua algoritma.

Parameter Simulasi	Nilai
Radius sel	500 m
Jarak D2D <i>pair</i> maksimal	30 m
Frekuensi pembawa	1.8GHz
D2D Tx Power	20dBm
BTS Tx Power	46dBm
Bandwidth of one RB (B)	180KHz
Noise Power density (N_0)	-174dBm/Hz
D2D Pairs	50-100 (<i>increments of 5</i>)
Cellular Users	100
Threshold Data Rate (R_{th})	512 Kbps

b. Algoritma QoS Aware Resource Allocation (QARA)

Pada [1], Algoritma QARA adalah algoritma heuristik yang digunakan untuk alokasi sumber daya spektrum pada komunikasi D2D *underlying* jaringan selular. Algoritma ini memperhitungkan permintaan *data rate* dari pengguna D2D dalam *resource allocation* agar dapat meningkatkan jumlah pengguna D2D dengan *data rate* yang maksimal dan *throughput* sistem yang meningkat. Cara kerjanya adalah dengan memilih kandidat pasangan D2D yang memiliki nilai diatas threshold lalu mengambil jarak terjauh antar *user* yang nantinya *data ratenya* akan diambil untuk dialokasikan dengan resource block sampai semua pasangan D2D nantinya teralokasikan semua.

c. Algoritma Greedy

Algoritma *Greedy* merupakan salah satu algoritma pembandingan pada penelitian ini. algoritma ini biasanya melakukan penyelesaian masalah dengan mencari nilai terbesar atau maximum pada setiap langkah pengerjaannya. Cara kerja algoritma ini yaitu dengan mencari nilai datarate paling besar pada setiap baris pasangan D2D yang mendapatkan sebuah RB secara beruntun dan tidak mempertimbangkan nilai datarate terbesar pada baris lainnya.

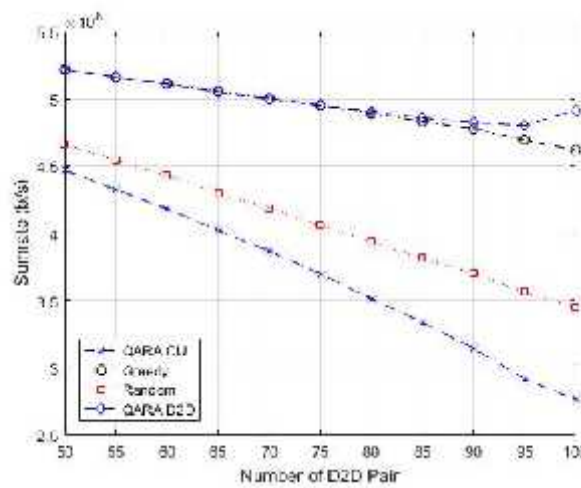
d. Algoritma *Random Allocation*

Algoritma *Random Allocation* juga merupakan salah satu algoritma pembandingan pada penelitian ini. Algoritma ini sangat sederhana dan tidak mempertimbangkan keuntungan dari jalur yang diambil untuk pengalokasiannya. Cara kerjanya adalah dengan mengalokasikan RB ke-n dari semua RB ke perangkat pasangan D2D ke-n. sehingga kalau dilihat dari hasil keseluruhan pengalokasiannya maka akan terlihat hasilnya akan berbentuk seperti matriks identitas.

4. Hasil Simulasi dan Analisis

Penelitian ini melakukan pengujian simulasi dengan membuat variasi dari jumlah pasangan D2D dari 50 pasang sampai 100 pasang dengan kenaikan 5 pasang dan jumlah CU sebanyak 100 pengguna.. Pada simulasi menggunakan parameter performansi berupa *sum rate*, *spectral efficiency*, *fairness*, *throughput*, dan *energy efficiency*.

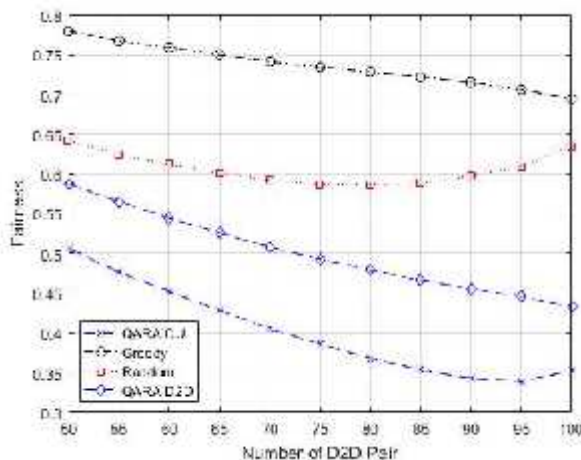
a. Hasil Pengujian *Sum Rate*



Gambar 2. Hasil pengujian *sum rate* yang menunjukkan bahwa Algoritma QARA D2D memiliki *sum rate* terbaik.

Performansi dari *sum rate* didapatkan dari total *data rate* pada Gambar 2 setelah semua sumber daya sudah dialokasikan pada masing – masing algoritma yang digunakan pada penelitian ini. Karena parameter ini digunakan untuk mencari nilai dari performansi parameter lainnya dan performansi menjadi sangat penting, ini digunakan untuk menentukan kualitas dari layanan komunikasi. Pada hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa nilai dari *sum rate* sistem terlihat menurun pada tiap – tiap algoritma itu dikarenakan radius sel yang dipakai kurang luas dan memakai jumlah *user* yang sangat banyak sehingga terlihat hasil grafik pengujian *sum rate* tampak menurun. Algoritma QARA untuk D2D memiliki nilai rata- rata *sum rate* yang paling besar dari Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation* dan Algoritma QARA untuk CU memiliki nilai paling kecil dibanding yang lain. Nilai *sum rate* dari Algoritma QARA untuk D2D lebih unggul dikarenakan telah mengalokasikan nilai *data rate* paling besar.

b. Hasil Pengujian *Fairness*



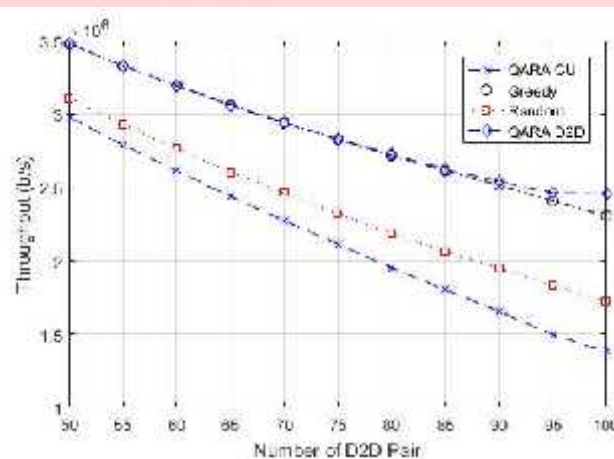
Gambar 3. Hasil pengujian *fairness* yang menunjukkan bahwa Algoritma *Greedy* memiliki *fairness* terbaik.

Performansi dari *fairness* pada Gambar 3 dinyatakan dari nilai 0 sampai 1. Dapat dilihat dari gambar di bawah ini bahwa Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation* memiliki nilai *fairness* lebih besar

dibanding Algoritma QARA baik untuk CU dan D2D. Nilai *fairness* dari Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation* lebih unggul dikarenakan *fairness* pada Algoritma QARA memiliki nilai *data rate* yang perbedaannya besar sesuai *request* dari setiap *user* sehingga menyebabkan nilai *fairness* nya menjadi lebih sedikit.

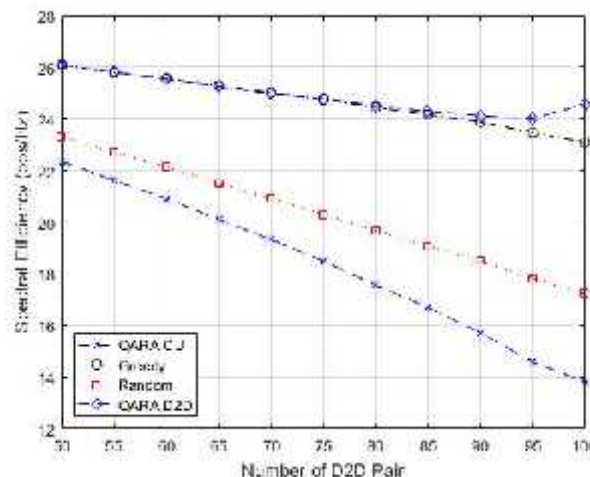
c. Hasil Pengujian *Throughput*

Pengujian *throughput* atau bisa disebut juga nilai dari *data rate* rata – rata pada Gambar 4 menunjukkan bahwa grafik pengujian *throughput* terlihat semakin menurun itu dikarenakan pengaruh dari hasil pengujian *sum rate* yang hasil grafiknya juga menurun sehingga saat masuk diperhitungan rumus menghasilkan nilai *throughput* yang semakin kecil tetapi mulai menigkat pada saat jumlah *user* mencapai 100. Algoritma QARA untuk D2D memiliki nilai rata- rata yang paling tinggi lalu disusul oleh Algoritma *Greedy* kemudian Algoritma *Random Allocation* dan Algoritma QARA untuk CU memiliki nilai yang paling kecil. Nilai *throughput* pada Algoritma QARA untuk D2D mempunyai nilai yang paling besar karena memiliki nilai rata – rata *sum rate* yang paling besar dan nilai alokasi *sum rate* terbesar juga ada pada Algoritma QARA untuk D2D.



Gambar 4. Hasil pengujian *throughput* yang menunjukkan bahwa Algoritma QARA D2D memiliki *throughput* terbaik.

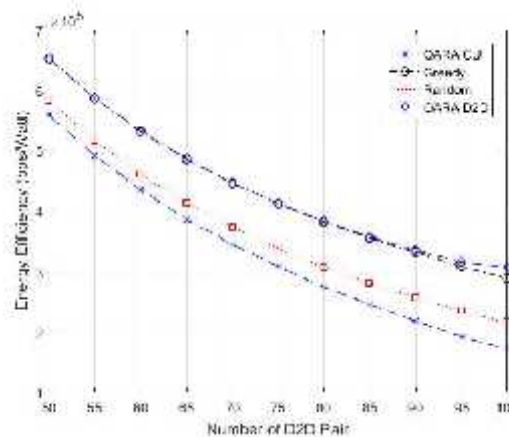
d. Hasil Pengujian *Spectral Efficiency*



Gambar 5. Hasil pengujian *spectral efficiency* yang menunjukkan bahwa Algoritma QARA D2D memiliki *spectral efficiency* terbaik.

Pengujian *spectral efficiency* pada Gambar 5 menunjukkan bahwa hasil grafiknya juga menurun yang disebabkan oleh hasil nilai *sum rate* yang semakin menurun sehingga mempengaruhi nilai *spectral efficiency* saat masuk pada perhitungan rumus tetapi mulai menigkat pada saat jumlah *user* mencapai 100. Algoritma QARA untuk D2D memiliki nilai rata rata yang paling tinggi lalu Algoritma *Greedy* kemudian Algoritma *Random Allocation* dan Algoritma QARA untuk CU memiliki nilai yang paling kecil. Nilai *spectral efficiency* pada Algoritma QARA untuk D2D mempunyai nilai yang paling besar karena memiliki nilai rata – rata *sum rate* yang paling besar sehingga saat masuk dalam perhitungan dalam rumus mendapatkan hasil yang besar dan nilai alokasi *sum rate* terbesar juga ada pada Algoritma QARA untuk D2D.

e. Hasil Pengujian *Energy Efficiency*



Gambar 6. Hasil pengujian energy efficiency yang menunjukkan bahwa Algoritma QARA D2D memiliki *energy efficiency* terbaik.

Dikarenakan *energy efficiency* pada Gambar 6 merupakan perbandingan antara *sum rate* dan daya total dalam satu sel, maka nilai *energy efficiency* akan berbanding terbalik dengan jumlah *user* sehingga semakin banyak jumlah *user* baik itu CU atau pasangan D2D maka akan semakin rendah nilai dari *energy efficiency* yang diperoleh dan data yang ditransmisikan menjadi semakin sedikit.

Pengujian *energy efficiency* menunjukkan bahwa Algoritma QARA untuk D2D memiliki nilai yang paling tinggi lalu Algoritma *Greedy* kemudian Algoritma *Random Allocation* dan Algoritma QARA untuk D2D memiliki nilai yang paling kecil. Nilai *energy efficiency* pada algoritma QARA untuk D2D mempunyai nilai yang paling besar karena memiliki nilai dan rata – rata *sum rate* yang paling besar sehingga saat masuk dalam perhitungan dalam rumus mendapatkan hasil yang besar dan nilai alokasi *sum rate* terbesar juga ada pada Algoritma QARA untuk D2D.

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa dengan algoritma QARA juga dapat meminimalisasi interferensi karena Algoritma QARA mengambil jarak *user* terjauh sehingga memiliki interferensi kecil yang menjadikan nilai SINR besar. Dalam penelitian ini menggunakan Algoritma QARA dan algoritma pembanding yaitu Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation*. Dari data dan hasil yang didapatkan bisa disimpulkan bahwa Algoritma QARA untuk komunikasi D2D memiliki hasil lebih baik dari Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation*. Hal ini bisa dilihat dari nilai rata-rata nilai parameter performansi yaitu *sum rate* sebesar 498,026 Mb/s, *throughput* sebesar 2,876 Mb/s, *spectral efficiency* sebesar 24,901 bps/Hz dan *energy efficiency*-nya sebesar 437,559 Kbps/Watt sedangkan algoritma lain bernilai lebih kecil. Maka *fairness* Algoritma QARA memiliki nilai lebih kecil daripada Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation* yaitu sebesar 0,500.

Daftar Pustaka:

- [1] Liu, C., & Zheng, J.. *A QoS-Aware Resource Allocation Algorithm for Device-to-Device Communication Underlying Cellular Networks*. 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 2017.
- [2] Agiwal, Mamta, A. Roy, and N. Saxena, "Next generation 5G wireless networks: a comprehensive survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 3, pp. 1-1, Feb. 2016.
- [3] Hoang, D. Tuong, L. B. Le, and T. Le-Ngoc, "Resource allocation for D2D communication underlaid cellular networks using graph-based approach," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 10, pp. 7099-7113, Oct. 2016.
- [4] F. Wang, Y. Li, Z. Wang, Z. Yang, "Social-community-aware resource allocation for D2D communications underlying cellular networks," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 5, pp. 3628-3640, May 2016.
- [5] S.Krishnasamy, S. Shakkottai, "Spectrum sharing and scheduling in D2D-enabled dense cellular networks," in Proc. of 13th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt 2015), Mumbai, India, May 2015.
- [6] Teknologi 4G LTE. [Online]. <http://teknologi-4g-lte.blogspot.com/2015/05/resource-block.html> (Submitted on May 16 2015)
- [7] F. Benkhelifa, A. Tall, Z. Rezki, and M.-S. Alouini, "On the low snr capacity of mimo fading channels with imperfect channel state information," IEEE Transactions on Communications, vol. 62, no. 6, pp. 1921–1930, 2014.

- [8] Kelif, J. M., M. Coupechoux and P. Godlewski. 2011. On The Dimensioning of Cellular OFDMA Networks. Preprint submitted to Elsevier Physical Communication. <https://hal-institut-mines-telecom.archives-ouvertes.fr/hal00665005> (Submitted on 3 Feb 2012).
- [9] A. Babu and L. Jacob, "Performance analysis of ieee 802.11 multirate wlans:time based fairness vs throughput based fairness," in 2005 international conference on wireless networks, communications and mobile computing, vol. 1.IEEE, 2005, pp. 203–208
- [10] J. Tang, D. K. So, E. Alsusa, and K. A. Hamdi, "Resource efficiency: A new paradigm on energy efficiency and spectral efficiency tradeoff," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 13, no. 8, pp. 4656–4669, 2014.
- [11] H. Ye, G. Lim, L. J. Cimini, and Z. Tan, "Energy-efficient scheduling and resource allocation in uplink ofdma systems," IEEE Communications Letters, vol. 19, no. 3, pp. 439–442, 2015.