

Alokasi Sumber Daya Radio Pada Komunikasi *Vehicle to Vehicle (V2V)*

1st Martinus Erico Noktafianus Hindarto
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
martinuserico@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Nachwan Mufti Adriansyah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
nachwanma@telkomuniversity.ac.id

3rd Vinsensius Sigit Widhi Prabowo
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
vinsensiusvsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Banyaknya jumlah kendaraan berpotensi meningkatkan resiko terjadinya kecelakaan di jalan raya. Untuk mengurangi resiko kecelakaan yang terjadi menjadi salah satu alasan bahwa sistem transportasi cerdas dibutuhkan. Teknologi jaringan seluler seperti 5G digunakan untuk komunikasi *vehicle-to-vehicle* (V2V). Dalam komunikasi V2V, kendaraan berbagi informasi satu sama lain, salah satunya untuk menghindari terjadinya tabrakan. D2D diperkenalkan ke 5G di 3GPP untuk mendukung layanan komunikasi V2V. Dengan mode *underlay* pada komunikasi D2D, *spectrum efficiency* terbaik dapat diperoleh, namun interferensi dapat terjadi antara *user* pada V2V dengan *user* pada V2I. Oleh karena itu, pengalokasian radio *resource* (RRA) menjadi salah satu aspek yang utama dalam mengimplementasikan komunikasi V2V. Dalam penelitian ini, dilakukan skema pengalokasian *resource block* pada *single cell* dengan arah komunikasi *uplink*. Proses pengalokasian radio *resource* (RRA) menggunakan algoritma *Efficient Resource Allocation for V2X Communication* (ERAVC). Performansi dilakukan perbandingan menggunakan algoritma *greedy*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma ERAVC dengan SINR V2V menghasilkan parameter performansi yang cukup baik yaitu 1.362×10^8 bps pada *sum rate*, 12.614 bps/Hz pada efisiensi spektral, dan 7.65×106 bps/watt pada efisiensi energi. Namun, untuk keseluruhan *fairness* memiliki nilai yang cukup rendah, seperti indeks *fairness* V2V sebesar 0.3170, indeks *fairness* V2I sebesar 0.3391 dan indeks *fairness* total sebesar 0.2568.

Kata kunci—*device to device (D2D)*, *vehicle to vehicle (V2V)*, ERAVC

I. PENDAHULUAN

Kepemilikan kendaraan terus bertambah seiring dengan pertumbuhan dan kebutuhan penduduk yang melakukan mobilitas demi memenuhi kebutuhan hidupnya. Banyaknya jumlah kendaraan berpotensi meningkatnya resiko terjadinya kecelakaan di jalan raya. Untuk mengurangi resiko kecelakaan yang terjadi menjadi salah satu alasan bahwa sistem transportasi cerdas dibutuhkan. Teknologi jaringan seluler seperti 5G digunakan untuk komunikasi *vehicle-to-everything* (V2X) [1]. V2X yang mencakup *vehicle-to-vehicle* (V2V), *vehicle-to-pedestrian* (V2P), dan *vehicle-to-infrastructure/network* (V2I/N) *communication* bertujuan untuk meningkatkan keselamatan pada pengguna jalan, efisiensi lalu lintas, dan ketersediaan layanan infotainment pada kendaraan [2].

Dalam komunikasi V2V, kendaraan berbagi informasi satu sama lain, salah satunya untuk menghindari terjadinya

tabrakan. Dalam komunikasi seluler tradisional, *Base Station* (BS) bertukar informasi dengan *cellular user* (CU), yang menimbulkan beban trafik pada BS dan kebutuhan kapasitas yang tinggi. Komunikasi *device-to device* (D2D) merupakan komunikasi langsung antar CU tanpa melalui BS, yang dapat meningkatkan *spectral efficiency*, meringankan beban trafik BS, dan meningkatkan *coverage* seluler. Karena fitur ini, D2D diperkenalkan ke 5G di 3GPP untuk mendukung layanan komunikasi V2V [3].

Berdasarkan alokasi spektrumnya, komunikasi D2D terbagi menjadi dua mode, yaitu mode *overlay* dan mode *underlay*. Mode *underlay* adalah mode di mana pengguna D2D menggunakan spektrum frekuensi yang sama dengan pengguna seluler biasa pada saat yang bersamaan, sedangkan mode *overlay* adalah ketika alokasi *resource* yang telah didedikasikan kepada pengguna D2D [4]. Dengan mode *underlay* pada komunikasi D2D, *spectrum efficiency* terbaik dapat diperoleh, namun interferensi dapat terjadi antara *user equipment* pada V2V (V2V-UE) dengan *user equipment* pada V2I (V2I-UE). Interferensi yang terjadi akan mengganggu penggunanya baik V2V-UE maupun V2I-UE. Oleh karena itu, pengalokasian radio *resource* (RRA) menjadi salah satu aspek yang utama dalam mengimplementasikan komunikasi V2V [2].

Pada penelitian ini penulis mengalokasikan radio *resource* (RRA) menggunakan algoritma *Efficient Resource Allocation for V2X Communication* (ERAVC). Pada algoritma ini, alokasi *resource block* (RB) berdasarkan pada nilai maksimum SINR V2V atau V2I. Hasil dari pengalokasian sumber daya kemudian ditinjau menggunakan empat parameter performansi seperti *Sum Data Rate*, *Spectral Efficiency*, *Power Efficiency*, dan *Fairness*.

II. KAJIAN TEORI

Pada penelitian kali ini komunikasi V2V menggunakan basis komunikasi D2D dikarenakan standar dari *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.11p teroptimasi untuk lingkup *Wireless Local Area Network* (WLAN). Standard tersebut memiliki nilai mobilitas yang sangat rendah, sehingga tidak memenuhi persyaratan untuk komunikasi V2V karena komunikasi V2V memiliki mobilitas yang tinggi [2]. Komunikasi D2D digunakan untuk memenuhi persyaratan komunikasi V2V yang beragam dengan manfaat *proximity gain*, *reuse gain*, dan *hop gain* [5].

Beberapa penelitian telah membahas alokasi sumber daya untuk layanan komunikasi V2V di mana sumber daya

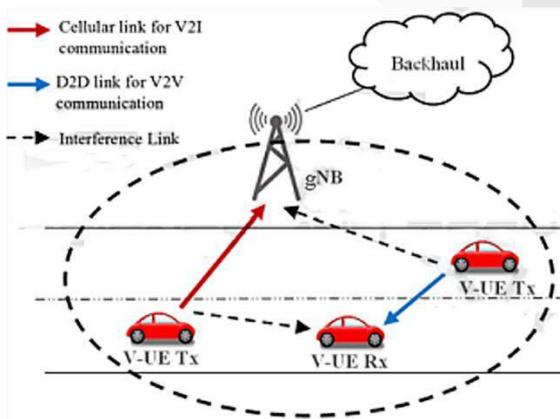
hanya digunakan bersama di antara V-UE. Penelitian lain mengalokasikan sumber daya untuk layanan V2V dan V2I di mana sumber daya dibagi di antara V2V-UE dan V2I-UE. Penelitian [6] merancang algoritma alokasi sumber daya dua lokasi (Penjadwalan Terpusat dan Terdistribusi) layanan komunikasi V2V, dengan hasil menunjukkan bahwa penjadwal terdistribusi bekerja sedikit lebih baik daripada yang tersentralisasi. Penelitian [7] merancang *Quality of Service (QoS)* baru dan alokasi sumber daya sadar kedekatan untuk komunikasi V2V guna meminimalkan total transmisi daya dengan mempertimbangkan latensi. Hasilnya dengan mengeksploitasi aspek temporal spasial V-UE dalam hal permintaan lalu lintas dan kedekatan fisik. Penelitian [8] mengusulkan alokasi sumber daya berbasis grafik untuk komunikasi V2V dan V2I. Skema ini bertujuan memaksimalkan jumlah komunikasi V2I sambil menjamin persyaratan *reliability* komunikasi V2V. Penelitian-penelitian sebelumnya hanya memfokuskan untuk memaksimalkan *sum rate* tanpa memberikan prioritas kepada *user*. Pada algoritma ERAVC kali ini memaksimalkan *sum rate* dengan memberikan prioritas kedatangan *user* [2].

III. METODE

Proses penelitian ini diawali dengan inialisasi jumlah pasangan V2V, setelah itu V2I dan pasangan V2V disebar dan dibangkitkan. Gain kanal, SINR dan kapasitas setiap user dan gNodeB dihitung sebelum dilakukan pengalokasian resource menggunakan algoritma yang akan digunakan. Algoritma ini memastikan seluruh pasangan V2V dan teralokasi. Proses ini dilakukan secara berulang hingga jumlah pasangan V2V sama dengan jumlah V2I. Setelah semua user teralokasi, dilakukan perhitungan dan analisis terhadap parameter performansi.

A. Model Sistem

Model sistem yang akan disimulasikan memiliki satu cell yang terdiri dari *gNodeB*, *vehicle to infrastructure user equipment (V2I-UE)* dan pasangan V2V. Sepasang perangkat V2V terdiri dari *transmitter V2V (V2VTx)* dan *receiver V2V (V2VRx)*. Arah transmisi yang digunakan ini adalah transmisi *uplink*. *Cell* yang digunakan memiliki radius sebesar 1500 meter. Model *cell* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1.



GAMBAR 1.
MODEL SIMULASI

B. Parameter Simulasi

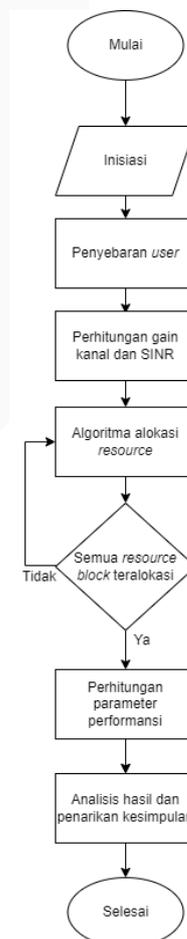
Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap jumlah pasangan V2V mulai dari 5 hingga 50 pasang V2V, dengan kenaikan sebanyak 5 pasang, sedangkan V2I tetap yaitu sebanyak 60 V2I. Tabel 1 menunjukkan parameter simulasi yang akan digunakan pada skenario 1.

TABEL 1:
PARAMETER SIMULASI

Parameter	Nilai
Panjang Jalan	1500 m
Jarak Maksimum V2V	100 m
Bandwidth RB	180 KHz
Frekuensi <i>carrier</i>	2 GHz
Daya transmisi V2V	0.2 Watt
Daya transmisi V2I	0.2 Watt
TTI	10000
Jumlah Pasangan V2V	5,10,15,...,50
Jumlah V2I	60
Jumlah <i>Resource Block</i>	60
Model kanal	<i>Rayleigh(1,1)</i>
Model <i>Shadowing</i>	<i>Lognormal(0,1)</i>

C. Skema Simulasi

Skema simulasi pada penelitian ini dijelaskan menggunakan *flowchart* pada gambar 2.



GAMBAR 2.
SKEMA SIMULASI

D. Perhitungan gain kanal dan SINR

Skema dibuat menggunakan kanal yang dimodelkan sebagai *rayleigh fading* dengan model *pathloss* menggunakan *Urban Micro Systems (UMi)* sehingga keseluruhan gain kanal yang dapat diterima *user i* kepada *user j* didapatkan melalui persamaan:

$$G_{i,j} = PL_{i,j} + X_{\sigma} + \Pi \quad (1)$$

di mana $PL_{i,j}$ merupakan *pathloss* yang dijelaskan pada [9], X_{σ} merupakan variabel *random* untuk *large scale fading* yang terdistribusi normal dengan standar deviasi σ , dan Π menunjukkan variabel *random* untuk *small scale fading* yang terdistribusi *rayleigh*. Gain kanal gNB dan gain kanal V2V dimodelkan sama dikarenakan perhitungan tersebut menggunakan kanal *rayleigh* dan model *shadowing lognormal*.

SINR gNB dan SINR V2V didefinisikan dalam bentuk kapasitas *Shannon*. sistem pada penelitian ini menggunakan skenario *uplink*, sehingga SINR yang diterima gNB dengan pengaruh interferensi dari pasangan V2V j didapatkan dengan persamaan [10]:

$$SC_{i,j} = \frac{P_i \cdot G_{i,gNB}}{N_o \cdot P_j \cdot G_{jTx,gNB}} \quad (2)$$

di mana P_i, P_j menunjukkan daya pancar V2I ke i dan daya pancar V2V ke j , $G_{i,gNB}$ merupakan gain kanal V2I ke i ke $gNodeB$, $G_{jTx,gNB}$ menunjukkan gain kanal V2V Tx ke j ke $gNodeB$, dan N_o menunjukkan *noise*.

SINR yang diterima pasangan V2V j dengan pengaruh interferensi dari V2I i didapatkan dengan persamaan:

$$SC_{i,j} = \frac{P_j \cdot G_{jTx,Rx}}{N_o \cdot P_i \cdot G_{i,Rx}} \quad (3)$$

di mana $G_{jTx,Rx}$ merupakan gain kanal V2V Tx ke V2V Rx ke j dan $G_{i,Rx}$ menunjukkan gain kanal V2I Tx ke i ke V2V Rx ke j . Nilai SINR yang telah didapatkan akan menjadi input untuk setiap algoritma yang akan digunakan.

E. Algoritma Greedy

Algoritma Greedy merupakan algoritma yang digunakan untuk pengalokasian *resource block* kepada *user*. Cara kerja algoritma ini berdasarkan urutan kedatangan *user* dengan mengalokasikan RB dengan kapasitas maksimum. Kapasitas yang digunakan merupakan kapasitas gabungan dari nilai kapasitas V2I dan V2V. Dengan demikian, pada pasangan V2V pertama memilih RB terbaik dengan nilai kapasitas maksimum. RB yang sudah dialokasikan tidak bisa digunakan lagi oleh pasangan D2D selanjutnya [11]. Proses ini terjadi hingga seluruh pasangan V2V telah teralokasi dan mendapat *resource* dari V2I. Berikut adalah *pseudocode* dari algoritma greedy [12].

TABEL 2: ALGORITMA GREEDY

F. Algoritma ERAVC

Algoritma ERAVC merupakan algoritma pengalokasian dan penjadwalan sumber daya yang tujuan utamanya untuk menjamin QoS semua V-UE, dengan memaksimalkan *sum rate*, *spectral efficiency*, dan *power efficiency* untuk V-UE [2]. Cara kerja dari algoritma ini yaitu *user* dengan SINR terbaik mendapatkan kanal RB terbaik. *User* berikutnya dengan SINR yang terbaik mendapatkan kanal RB yang terbaik, namun kanalnya berbeda dengan yang sebelumnya. Alokasi berjalan hingga semua user mendapatkan kanal [2].

GAMBAR 3.

ILUSTRASI CARA KERJA ALGORITMA ERAVC

Algorithm 1: Greedy algorithm for V2V Communication

$C \leftarrow$ combined capacity of V2I and V2V;

$i \leftarrow$ number of user;

$S \leftarrow$ result of allocation;

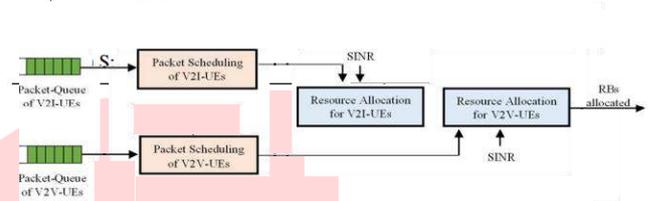
$S \leftarrow \{\}$;

while $C \neq \{\}$ **do**

$i = \max C[i]$;

$C = C - \{i\}$;

$S = S \cup \{i\}$;



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini proses alokasi dilakukan menggunakan algoritma ERAVC dengan masukan SINR V2I yang kemudian akan dibandingkan dengan algoritma ERAVC dengan masukan SINR V2V, serta algoritma greedy. Parameter performansi yang dianalisis berupa *sum rate*, *spectral efficiency*, *power efficiency*, dan *fairness* total.

A. Data Rate

Data rate yang dihitung ada dua, yaitu *data rate* V2V dan *data rate* V2I. Persamaan (4) digunakan untuk mencari nilai *data rate* V2V, sedangkan persamaan (5) digunakan untuk mencari nilai *data rate* V2I [13].

$$\mu C_{i,j} = B \cdot \log_2(1 + SC_{i,j}) \quad (4)$$

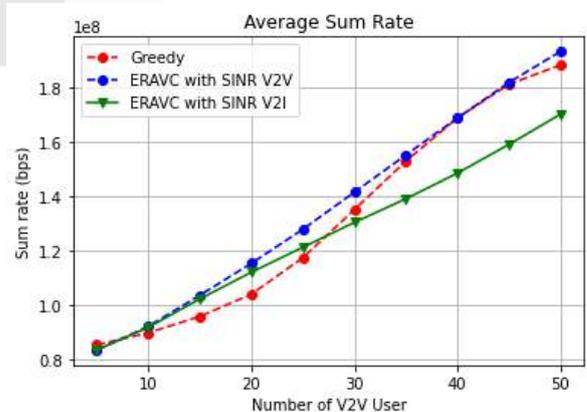
$$\mu D_{i,j} = B \cdot \log_2(1 + SD_{i,j}) \quad (5)$$

di mana $\mu C_{i,j}$ adalah *data rate* untuk V2I, $\mu D_{i,j}$ adalah *data rate* untuk V2V, B adalah nilai *bandwidth* dalam satuan Hz, $SC_{i,j}$ adalah SINR sisi V2I dan $SD_{i,j}$ adalah SINR sisi V2V Rx.

B. Sum Rate

Sum rate merupakan total *data rate* yang seluruh user atau penjumlahan *data rate* V2I dan V2V. Persamaan (6) digunakan untuk menghitung *sum rate* adalah [14]:

$$\mu T_{i,j} = \mu C_{i,j} + \mu D_{i,j} \quad (6)$$



GAMBAR 5.

HASIL SIMULASI SUM RATE

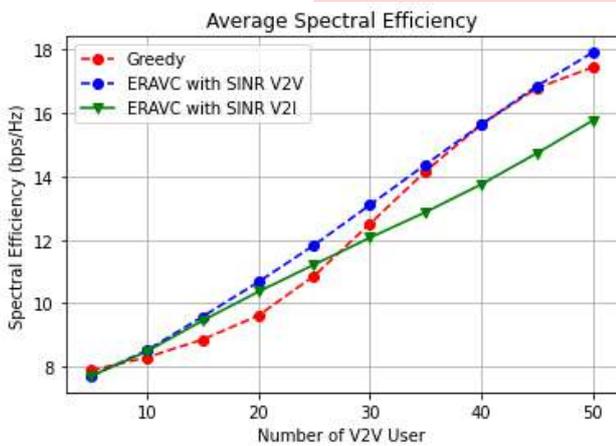
Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa *sum rate* V2V paling tinggi saat menggunakan algoritma ERAVC dengan SINR V2V, kemudian algoritma *greedy* dan terakhir menggunakan algoritma ERAVC dengan SINR V2I. Hal tersebut dikarenakan pengalokasian pada algoritma ERAVC dilakukan berdasarkan nilai SINR V2V yang tinggi, sedangkan pada algoritma *greedy* pengalokasian lebih memperhatikan sisi kapasitas V2V dengan *gNodeB*.

C. Spectral Efficiency

Persamaan (7) digunakan untuk menghitung nilai *spectral efficiency* [15].

$$\epsilon_{i,j} = \frac{SR}{B \cdot RB} \quad (7)$$

Di mana nilai SR adalah *sum rate* dan RB merupakan jumlah *resource block* yang digunakan. Semakin besar nilai *spectral efficiency*, semakin cepat juga laju data yang dikirimkan dan nilai *latency* semakin rendah.



GAMBAR 6. HASIL SIMULASI SPECTRAL EFFICIENCY

Algoritma ERAVC dengan SINR V2I menghasilkan nilai paling rendah dibandingkan dengan algoritma *greedy* dan algoritma ERAVC dengan SINR V2V. Algoritma ERAVC dengan SINR V2I memiliki nilai rata-rata *spectral efficiency* sebesar 11.640 bps/Hz, Sedangkan hasil rata-rata nilai pada algoritma *greedy* sebesar 12.201 bps/Hz, dan algoritma ERAVC dengan SINR V2V sebesar 12.614 bps/Hz. Nilai rata-rata algoritma ERAVC dengan SINR V2I memiliki hasil yang paling rendah karena hasil nilai *sum rate* yang didapatkan lebih rendah dibandingkan algoritma *greedy* dan algoritma ERAVC dengan V2V. *Spectral efficiency* dipengaruhi oleh *sum rate*, ketika *sum rate* yang didapatkan itu lebih kecil maka hasil nilai *spectral efficiency* lebih kecil juga.

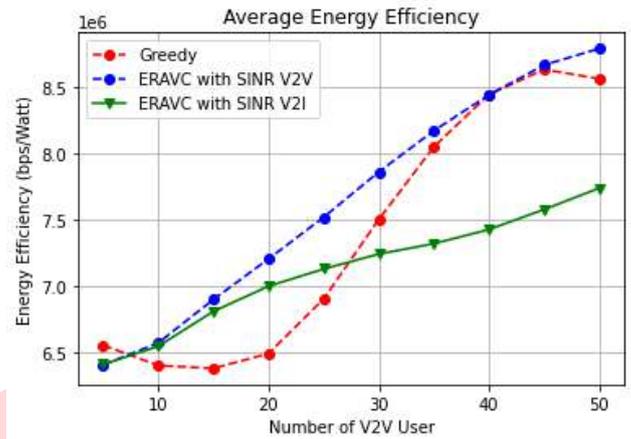
D. Power Efficiency

Persamaan (8) digunakan untuk mengetahui nilai *power efficiency* [16].

$$\eta_{i,j} = \frac{SR}{I \cdot P_{CU} + J \cdot P_{DU}} \quad (8)$$

Di mana P_{CU} merupakan daya pancar V2I dalam *watt* dan P_{DU} merupakan daya pancar V2V dalam *watt*. Semakin

besar nilai *power efficiency*, maka semakin efektif daya yang digunakan, sehingga penggunaan energi serta biaya bisa dikurangi.



GAMBAR 7. HASIL SIMULASI POWER EFFICIENCY

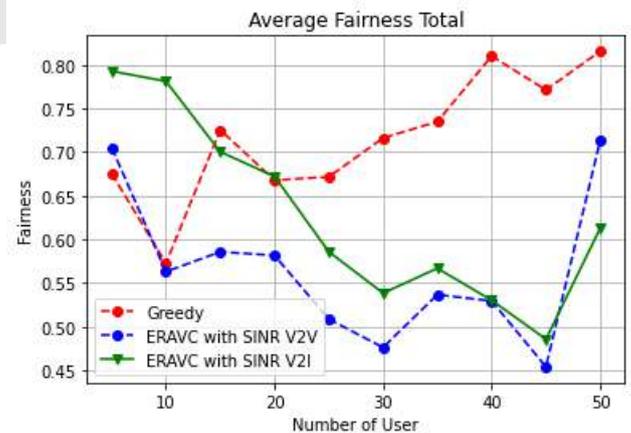
Menurut grafik algoritma ERAVC dengan SINR V2I menghasilkan nilai paling rendah dibandingkan dengan algoritma *greedy* dan algoritma ERAVC dengan SINR V2V. Algoritma ERAVC dengan SINR V2I memiliki nilai rata-rata *power efficiency* sebesar 7.117×10^6 bps/Watt, Sedangkan hasil rata-rata nilai pada algoritma *greedy* sebesar 7.389×10^6 bps/Watt, dan algoritma ERAVC dengan SINR V2V sebesar 7.65×10^6 bps/Watt. Nilai rata-rata algoritma ERAVC dengan SINR V2I memiliki hasil yang paling rendah karena hasil nilai *sum rate* yang didapatkan lebih rendah dibandingkan algoritma *greedy* dan algoritma ERAVC dengan V2I. *Power efficiency* dipengaruhi oleh *sum rate*, ketika *sum rate* yang didapatkan itu lebih kecil maka hasil nilai *power efficiency* lebih kecil juga.

E. Fairness Total

Pada penelitian ini perhitungan fairness menggunakan *Jain's Fairness Index*. Persamaan (9) digunakan untuk menentukan fairness [17].

$$\zeta_{i,j} = \frac{(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij} \cdot \mu T_{ij})^2}{N \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x_{ij} \cdot \mu T_{ij})^2} \quad (8)$$

Di mana nilai N adalah jumlah *user*. Nilai maksimum dari fairness adalah satu, dan jika *fairness* bernilai satu maka setiap user mendapatkan *data rate* dengan sebanding atau adil.



GAMBAR 8.

HASIL SIMULASI FAIRNESS TOTAL

Dapat dilihat bahwa algoritma ERAVC dengan SINR V2V memiliki nilai sebesar 0.5653 pada rata-rata *fairness total*, algoritma ERAVC dengan SINR V2I memiliki nilai sebesar 0.6265, dan pada algoritma *greedy* memiliki nilai sebesar 0.7160 pada rata-rata *fairness total*. Berdasarkan hasil data tersebut, algoritma ERAVC memiliki hasil nilai lebih rendah dibandingkan dengan algoritma *greedy*. Hal ini disebabkan karena algoritma ERAVC memiliki kapasitas total lebih kecil dibandingkan dengan algoritma *greedy*, sehingga menyebabkan nilai *fairness total* yang dimiliki algoritma ERAVC memiliki nilai yang lebih rendah. Grafik menunjukkan nilai yang fluktuatif berasal dari kapasitas SINR yang diterima *user* tiap iterasinya berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh penyebaran *user* yang tidak merata, misalnya, jarak antar *user* terlalu jauh. Akibatnya, nilai total sum rate yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi nilai rata-rata indeks *fairness*.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini skema alokasi sumber daya dilakukan menggunakan algoritma ERAVC yang kemudian dibandingkan dengan masukan SINR V2V dan SINR V2I, serta algoritma *greedy*. Proses alokasi *resource* menggunakan algoritma ERAVC memberikan performansi yang lebih baik daripada algoritma *greedy*. Hal ini disebabkan proses alokasi *resource* pada algoritma ERAVC yaitu *user* dengan SINR terbaik mendapatkan kanal RB terbaik. SINR terbaik didapatkan dengan jarak *user* terjauh dikarenakan nilai interferensinya yang semakin kecil.

REFERENSI

- [1] H. Mun, M. Seo, and D. H. Lee, "Secure privacy-preserving v2v communication in 5g-v2x supporting network slicing," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2021.
- [2] A. Masmoudi, S. Feki, K. Mnif, and F. Zarai, "Radio resource allocation algorithm for device to device based on lte-v2x communications." in ICETE (1), 2018, pp. 431–437.
- [3] X. Zhang, Y. Shang, X. Li, and J. Fang, "Research on overlay d2d resource scheduling algorithms for v2v broadcast service," in 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 2016, pp. 1–5.
- [4] Y. Zhang, Y. Shen, X. Jiang, and S. Kasahara, "Mode selection and spectrum partition for d2d inband communications: A physical layer security perspective," IEEE Transactions on Communications, vol. 67, no. 1, pp. 623–638, 2018.
- [5] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklos, and Z. Turanyi, "Design aspects of network assisted device-to-device communications," IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 3, pp. 170–177, 2012.
- [6] X. Zhang, Y. Shang, X. Li, and J. Fang, "Research on overlay d2d resource scheduling algorithms for v2v broadcast service," in 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall). IEEE, 2016, pp. 1–5.
- [7] M. I. Ashraf, C.-F. Liu, M. Bennis, and W. Saad, "Towards low-latency and ultra-reliable vehicle-to-vehicle communication," in 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC). IEEE, 2017, pp. 1–5. 57 58
- [8] L. Liang, S. Xie, G. Y. Li, Z. Ding, and X. Yu, "Graph-based radio resource management for vehicular networks," in 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC). IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [9] F. Zaki, S. Kishk, and N. Almofari, "Distributed resource allocation for d2d communication networks using auction," in 2017 34th National Radio Science Conference (NRSC). IEEE, 2017, pp. 284–293.
- [10] A. ABADI et al., "Manajemen interferensi dengan menggunakan power control untuk komunikasi device-to-device (d2d) dalam jaringan komunikasi seluler," 2017.
- [11] A. Syifana, L. Meylani, and V. S. W. Prabowo, "Alokasi sumber daya radio pada komunikasi underlay device to device menggunakan algoritma two phased auction based fair and interference resource allocation," eProceedings of Engineering, vol. 8, no. 5, 2021.
- [12] R. Munir, "Algoritma *greedy*," Departemen Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung, 2004.
- [13] B. A. Forouzan, Data communications and networking. Huga Media, 2007.
- [14] I. G. Fraimis and S. A. Kotsopoulos, "Qos-based proportional fair allocation algorithm for ofdma wireless cellular systems," IEEE Communications Letters, vol. 15, no. 10, pp. 1091–1093, 2011.
- [15] J. Iqbal, M. A. Iqbal, A. Ahmad, M. Khan, A. Qamar, and K. Han, "Comparison of spectral efficiency techniques in device-to-device communication for 5g," IEEE Access, vol. 7, pp. 57 440–57 449, 2019.
- [16] D.-T. Huynh, X. Wang, T. Q. Duong, N.-S. Vo, and M. Chen, "Social-aware energy efficiency optimization for device-to-device communications in 5g networks," Computer Communications, vol. 120, pp. 102–111, 2018.
- [17] M. Y. Ramadhan, V. Sigit, and A. Fahmi, "Radio resource allocation for device to device network using auction algorithm," Jurnal Tiarsie, vol. 16, no. 2, pp. 53–58, 2019.