

Alokasi *Resource* Pada Komunikasi D2d Menggunakan Algoritma *Hungarian* Dengan Metode *Geometric Water Filling* Berbasis Pd-Noma

1st Windy Nathalie Ong
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia
windynathalie@student.telkomuni-
versity.ac.id

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

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

Abstrak

Sistem komunikasi *Device-to-Device* (D2D) memungkinkan dua atau lebih *user* saling berkomunikasi secara langsung tanpa melibatkan *Base Station* (BS). Pada komunikasi D2D, *Cellular User Equipment* (CUE) dapat saling berbagi *resource* yang sama dengan pasangan D2D. Penggunaan *resource* secara bersamaan antara CUE dan pasangan D2D dapat menimbulkan interferensi. Untuk mengurangi dampak interferensi, penelitian ini melakukan pengalokasian *resource* menggunakan algoritma *Hungarian*. Setelah melakukan alokasi *resource* dilanjutkan dengan alokasi daya menggunakan metode *Geometric Water Filling* (GWF) untuk meningkatkan hasil parameter performansi. Proses alokasi *resource* dan alokasi daya yang dilakukan berdasarkan pada prinsip *Power Domain Non-Orthogonal Multiple Access* (PD-NOMA). Setelah dilakukan proses alokasi, selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisis parameter performansi. Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan algoritma *Hungarian* dengan metode *fixed*. Hasil yang didapatkan dari simulasi yaitu *sum data rate* sebesar 3.832×10^7 bps, efisiensi daya sebesar 0.843×10^5 bps/mw, dan efisiensi spektral sebesar 10.647 bps/Hz. Algoritma *Hungarian* dengan metode GWF memiliki peningkatan performansi lebih baik 12.150% untuk *sum data rate*, 14.961% untuk efisiensi daya, dan 12.162% untuk efisiensi spektral dibandingkan dengan algoritma *Hungarian* dengan metode *fixed*.

Kata Kunci : *Device-to-Device*, PD-NOMA, *Hungarian*, GWF

Abstract

Device-to-Device (D2D) communication system allows two or more users to communicate directly without involving Base Station. In D2D communication, Cellular User Equipment (CUE) can share the same resource with the D2D pair. However, sharing the same resources between the CUE and D2D pair may cause interference. So, to reduce the impact of interference, this research allocates resources using the Hungarian algorithm. After doing the resource allocation, this research continued to allocate power using the Geometric Water Filling (GWF) method to improve parameter performance results. Resource and power allocations are conducted based on Power Domain Non-Orthogonal Multiple Access (PD-NOMA) principle. The next step after the allocation process is to calculate and analyze performance parameters. Then the result will be compared with the Hungarian algorithm using fixed allocation. The simulation results i.e. sum data rate is 3.832×10^7 bps, power efficiency is 0.843×10^5 bps/mw, and spectral efficiency is 10.647 bps/Hz. The Hungarian algorithm with the GWF method has a better performance improvement of 12.150% for sum data rate, 14.961% for power efficiency, and 12.162% for spectral efficiency compared to the Hungarian algorithm with the fixed method.

Keywords: *Device-to-Device*, PD-NOMA, *Hungarian*, GWF

I. PENDAHULUAN

Perkembangan seluler terus mengalami peningkatan untuk memenuhi permintaan

pengguna yang terus meningkat. Peningkatan permintaan pengguna dapat menyebabkan peningkatan kebutuhan *data rate* dan kepadatan trafik pada *Base Station* (BS) [1]. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang dapat mengatasi permasalahan kepadatan trafik. Salah satu teknologinya adalah dengan memanfaatkan komunikasi *Device-to-Device* (D2D). D2D memungkinkan dua atau lebih pengguna saling berkomunikasi secara langsung tanpa memerlukan perantara BS [2]. Pada komunikasi D2D, pengguna dapat saling berbagi Resource Block (RB) yang sama dengan *Cellular User Equipment* (CUE). Berbagi *resource* dapat mengurangi beban trafik tetapi dapat menyebabkan terjadinya interferensi.

Oleh karena itu, salah satu upaya untuk mengurangi terjadinya interferensi adalah dengan menerapkan teknik *multiple access*, algoritma alokasi *resource*, dan metode alokasi daya yang tepat. Pada penelitian ini, teknik *multiple access* yang digunakan adalah *Power Domain Non-Orthogonal Multiple Access* (PD-NOMA) dengan pengalokasian *resource* menggunakan algoritma *Hungarian* dan pengalokasian daya menggunakan metode *Geometric Water Filling* (GWF). Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan algoritma *Hungarian* dengan *fixed allocation* berbasis PD-NOMA.

II. KAJIAN TEORI

Dalam komunikasi D2D terdapat banyak permasalahan penurunan performa sistem dikarenakan interferensi. Oleh karena itu, ada banyak penelitian sebelumnya yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan penurunan performa sistem. Pada penelitian [3], dilakukan peningkatan kapasitas D2D dengan mengalokasikan *resource* dengan algoritma *Hungarian* dan *reuse* secara sekuensial dengan menambahkan channel. Pada penelitian [4], terjadi pengalokasian daya yang optimal ke pengguna dengan melakukan pengalokasian daya pada D2D dengan metode GWF. Pada penelitian [5], terjadi peningkatan *sum data rate*, dan efisiensi sistem disebabkan oleh penerapan algoritma alokasi *resource* menggunakan *joint greedy* dengan metoda alokasi daya yaitu *Water Filling Power Control*. Pada penelitian [6],

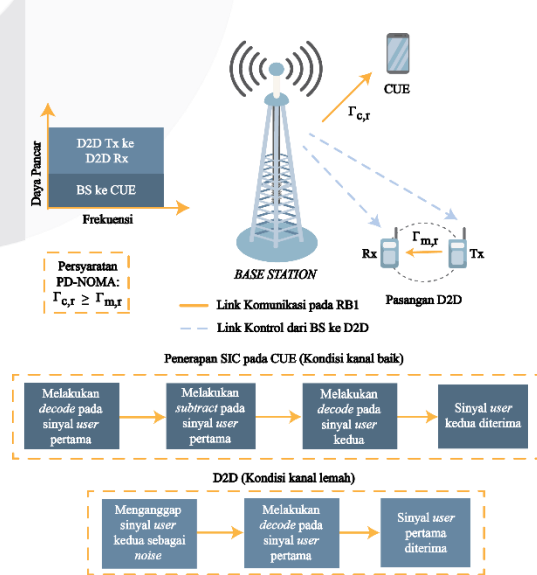
dilakukan peningkatan *sum data rate* dengan menerapkan *Non-Orthogonal Multiple Access* (NOMA). Pada penelitian ini, akan diusulkan alokasi *resource* menggunakan algoritma *Hungarian* dan alokasi daya menggunakan metode GWF berbasis PD-NOMA.

III. METODE

Tahapan dari penelitian yang dilakukan adalah merancang model sistem, menghitung *gain* kanal dan *Channel to Noise Ratio* (CNR), menetapkan parameter simulasi, melakukan simulasi algoritma yang diusulkan, menghitung *Signal to Interference Noise Ratio* (SINR) dan parameter performansi, serta menganalisis hasil simulasi.

a. Model Sistem

Model sistem pada penelitian ini adalah *single cell* dengan arah transmisi *downlink*. RB dapat digunakan bersamaan antara CUE dan pasangan D2D. Pada penelitian ini, pengalokasian untuk 1 RB dibatasi hanya terdiri dari 2 *user* yaitu 1 pasangan D2D dan 1 CUE. Hal ini dilakukan untuk mengurangi error propagasi yang terjadi. Pengalokasian *resource* dan daya memperhatikan kondisi kanal dari masing-masing *user*. Hal tersebut bertujuan untuk memenuhi prinsip dari PD-NOMA yaitu *Successive Interference Cancellation* (SIC). Model sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Sistem.

b. Gain Kanal dan CNR

Gain kanal adalah parameter untuk mengukur besar penguatan pada suatu kanal. Gain kanal dapat diperoleh menggunakan persamaan:

$$G = P_L(d) - \Pi - X_\sigma \tag{1}$$

dimana G adalah gain kanal dalam satuan dB, $P_L(d)$ adalah *log-distance path loss* dalam satuan dB, Π adalah variabel acak untuk *small scale fading* yang terdistribusi *rayleigh* dalam satuan dB, dan X_σ adalah variabel acak untuk *large scale fading* yang terdistribusi normal dengan standar deviasi σ . *Log-distance path loss* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [7]:

$$P_L(d) = P_L(d_o) - 10n \log_{10} \frac{d}{d_o} \tag{2}$$

dimana $P_L(d)$ adalah *log-distance path loss* dalam satuan dB, $P_L(d_o)$ adalah *path loss* pada jarak referensi dalam satuan dB, d_o adalah jarak referensi biasanya 1 meter, dan n adalah *path loss exponent*. CNR adalah perbandingan antara gain kanal dengan noise yang dirasakan oleh user. CNR dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan [8]:

$$\Gamma = \frac{G}{N} \tag{3}$$

dimana Γ adalah CNR yang dirasakan user, G adalah gain kanal, dan N adalah noise.

c. Parameter Simulasi

Simulasi yang akan dilakukan adalah pengalokasian resource dan daya dengan memvariasikan daya maksimum pada BS. Sebelum melakukan pengalokasian resource dan daya diperlukan inisialisasi parameter simulasi. Tabel 1 merupakan parameter simulasi yang ditetapkan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Parameter Simulasi.

No.	Parameter	Nilai
1.	Jumlah Pasangan D2D	20 pasang
2.	Jumlah CUE	20 user
3.	Jumlah RB	20
4.	Radius sel	100 m
5.	Daya maksimum pada BS	20 – 38 dBm
6.	Noise power spectrum density, σ^2	-144 dBm/Hz
7.	Path Loss Exponent, η	4

8.	Jarak maksimum antara D2D Tx dengan D2D Rx	10 m
9.	Model Path Loss	Log-Distance
10.	Model Shadowing	Lognormal

d. Algoritma dan metode yang diusulkan

Pada penelitian ini, algoritma yang akan digunakan adalah *Hungarian* untuk pengalokasian resource. Metode yang akan digunakan adalah GWF untuk pengalokasian daya.

e. Algoritma Hungarian

Algoritma *Hungarian* adalah algoritma yang digunakan untuk mencari solusi optimal dalam pengalokasian resource. Pada penelitian ini, inputan dari algoritma *Hungarian* adalah CNR. Algoritma *Hungarian* bertujuan untuk memilih CNR untuk pasangan D2D dan CUE yang paling optimal. Adapun tahapan dalam algoritma *Hungarian* adalah sebagai berikut [9]:

1. Mencari nilai maksimum dari masing-masing baris dan kolom.
2. Menentukan penjumlahan dari nilai maksimum yang telah didapatkan.
3. Menentukan nilai integer yaitu u_i dan v_j berdasarkan hasil penjumlahan nilai maksimum baris atau kolom terbesar.
4. Berikan nilai 1 untuk penjumlahan u_i dan v_j yang sama dengan nilai matriks itu sendiri.
5. Berikan tanda * untuk setiap angka 1 pada tiap baris dengan kolom yang berbeda.
6. Mencari *possible transfer* yang memungkinkan dan lakukan *transfer* tanda *. Jika tidak ada *possible transfer*, langsung ke langkah selanjutnya.
7. Menentukan baris dan kolom yang esensial dimana untuk kolom esensial akan mengalami penambahan *budget assignment* dan baris esensial tidak akan mengalami penambahan atau pengurangan *budget assignment*. Untuk baris non-esensial akan mengalami pengurangan *budget assignment* dan untuk kolom non-esensial tidak akan mengalami penambahan atau pengurangan *budget assignment*.

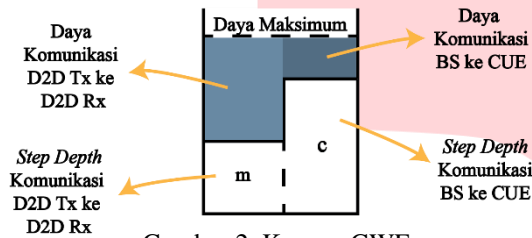
8. Ulangi langkah 6 dan 7 hingga mencapai solusi optimal.

Setelah CNR dipilih, nilai CNR antara D2D dan CUE perlu dibandingkan dan harus memenuhi urutan SIC *decoding* yaitu CNR dari D2D harus lebih kecil daripada CNR CUE. Tujuannya adalah untuk memenuhi prinsip PD-NOMA.



f. Metode *Geometric Water Filling* (GWF)

Metode GWF adalah metode yang bertujuan untuk mendistribusikan level daya yang berbeda untuk setiap pengguna berdasarkan kondisi kanal pengguna [8]. Dalam metode GWF dilakukan pencarian *water level step* tertinggi, kalkulasi *step depth*, dan perhitungan daya untuk masing-masing *user* yang akan dialokasikan. Inputan pada metode GWF adalah gain kanal. Semakin besar gain kanal, semakin kecil daya yang dialokasikan. Semakin kecil gain kanal, semakin besar daya yang dialokasikan. Konsep GWF dapat diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsep GWF.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan *step depth* dapat adalah sebagai berikut:

$$d_{k,r} = \frac{1}{\left(\frac{G_{k,r}}{\sum_{k \in K} G_{k,r}} \right)} \quad (4)$$

dimana $d_{k,r}$ adalah *step depth* dari k dimana $k \in m, c$ yaitu *user* D2D dan CUE saling berbagi pada RB yang sama, dan $G_{k,r}$ adalah *gain* kanal dari k . Persamaan yang digunakan untuk menentukan daya yang akan dialokasikan adalah sebagai berikut [8]:

$$P_{k,r} = \begin{cases} P_{l^*,r} + (d_{l^*} - d_k), & \text{jika } 1 < k \leq l^* \\ 0, & \text{jika } l^* < k \leq |K| \end{cases} \quad (5)$$

dimana $P_{k,r}$ adalah daya yang dialokasikan pada k dalam suatu RB, l^* adalah *maximum water level*, $P_{l^*,r}$ adalah daya yang dialokasikan pada level l^* , d_{l^*} adalah *step depth* untuk level l^* , dan d_k adalah *step depth* pada k .

g. SINR dan Parameter Performansi

SINR merupakan rasio perbandingan antara kekuatan sinyal yang dipancarkan dengan noise dan interferensi yang terjadi. SINR yang dirasakan pada sisi D2D dan yang dirasakan pada sisi CUE berbeda. Berdasarkan PD-NOMA,

perangkat dengan kondisi kanal yang lemah akan mendapatkan daya yang tinggi sehingga menganggap yang lainnya sebagai *noise*. Sedangkan perangkat dengan kondisi kanal yang baik akan menerapkan SIC [8]. Pada penelitian ini, CUE merupakan perangkat dengan kondisi kanal yang baik, dan D2D merupakan perangkat dengan kondisi kanal yang lemah. Berdasarkan [8], nilai SINR yang diterima oleh perangkat D2D dapat dikalkulasi dengan persamaan:

$$\gamma_{m,r} = \frac{P_{m,r} \times \Gamma_{m,r} \times d_m^{-n}}{1 + (P_{c,r} \times \Gamma_{m,r})} \quad (6)$$

dimana $\gamma_{m,r}$ merupakan SINR yang dirasakan oleh D2D pada suatu RB, $P_{m,r}$ merupakan daya pancar yang dialokasikan untuk komunikasi pasangan D2D pada suatu RB, $\Gamma_{m,r}$ merupakan CNR yang dirasakan oleh D2D pada suatu RB, $P_{c,r}$ merupakan daya penginterferensi, d_m merupakan jarak antar pasangan D2D, dan n merupakan *path loss exponent*. Berdasarkan PD-NOMA, sistem dengan kondisi kanal yang baik akan menerapkan prinsip SIC. Berdasarkan [8], persamaan untuk mencari nilai SINR pada CUE setelah melakukan *decode* sinyal D2D adalah sebagai berikut:

$$\gamma_{c,r} = P_{c,r} \times \Gamma_{c,r} \quad (7)$$

dimana $\gamma_{c,r}$ merupakan SINR yang dirasakan oleh CUE, $P_{c,r}$ merupakan daya pancar yang dialokasikan untuk komunikasi BS ke CUE dalam suatu RB, dan $\Gamma_{c,r}$ merupakan CNR yang dirasakan oleh CUE.

Parameter performansi merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan bagaimana kinerja dari sistem yang telah dirancang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan simulasi maka didapatkan grafik parameter performansi dari *sum data rate*, efisiensi daya, dan efisiensi spektral.

a. *Data Rate*

Data rate adalah besarnya jumlah bit yang ditransmisikan dalam setiap detik. Perhitungan *data rate* CUE dapat dinyatakan dalam persamaan [8]:

$$R_{c,r} = \Delta f \log_2(1 + \gamma_{c,r}) \quad (8)$$

dimana $R_{c,r}$ adalah *data rate* CUE pada suatu RB, Δf adalah *bandwidth*, dan $\gamma_{c,r}$ adalah SINR CUE pada suatu RB. Sedangkan perhitungan *data rate* untuk D2D dapat dinyatakan dalam persamaan [8]:

$$R_{m,r} = \Delta f \log_2(1 + \gamma_{m,r}) \quad (9)$$

dimana $R_{m,r}$ adalah *data rate* D2D pada suatu RB, Δf adalah *bandwidth*, dan $\gamma_{m,r}$ adalah SINR D2D pada suatu RB.

b. *Sum Data Rate*

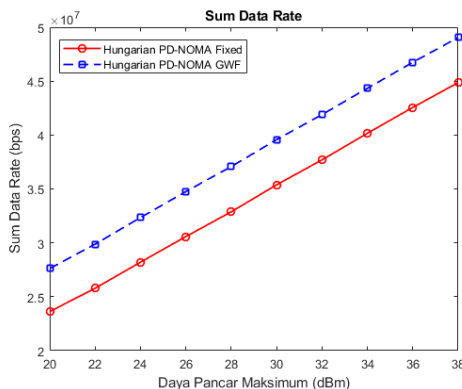
Sum data rate adalah penjumlahan dari *data rate* sisi CUE dan sisi D2D. *Sum data rate* dapat dikalkulasikan dengan menggunakan persamaan:

$$SR = \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \alpha_{c,r} R_{c,r} + \alpha_{m,r} R_m \quad (10)$$

dimana SR adalah *sum data rate* sisi CUE dan D2D, $R_{c,r}$ adalah *data rate* berdasarkan sisi CUE, $R_{m,r}$ adalah *data rate* berdasarkan sisi D2D, R adalah jumlah RB, C adalah jumlah CUE, M adalah jumlah pasangan D2D, $\alpha_{c,r}$ adalah matriks alokasi jika CUE ke- c menggunakan *resources* ke- r , dan $\alpha_{m,r}$ adalah matriks alokasi jika D2D ke- m menggunakan *resources* ke- r .

Perbandingan hasil *sum data rate* untuk setiap algoritma yang digunakan terhadap variasi daya maksimum pada BS dapat ditunjukkan pada Gambar 3. Dari grafik yang dihasilkan terlihat bahwa peningkatan daya maksimum pada BS dapat meningkatkan *sum data rate* sistem. Ketika daya maksimum pada BS meningkat, SINR yang dirasakan *user* akan meningkat sehingga *data rate user* ikut meningkat.

Tabel 2 menunjukkan nilai rata-rata *sum data rate* untuk setiap algoritma. Berdasarkan Tabel 2,



Gambar 3. *Sum Data Rate*.

hasil *sum data rate* untuk *Hungarian PD-NOMA GWF* lebih baik dibandingkan *Hungarian PD-NOMA Fixed*. Hal tersebut dikarenakan pada metode GWF dilakukan pengalokasian daya berdasarkan kondisi *gain* kanal masing-masing *user*. Ketika *user* memiliki *gain* kanal yang lemah maka akan dialokasikan daya yang tinggi. Ketika *user* memiliki *gain* kanal yang baik maka akan dialokasikan daya yang rendah. Pengalokasian daya menggunakan GWF dapat memanfaatkan daya seefektif mungkin dibandingkan metode *fixed*.

Tabel 2. Hasil *Sum Data Rate*.

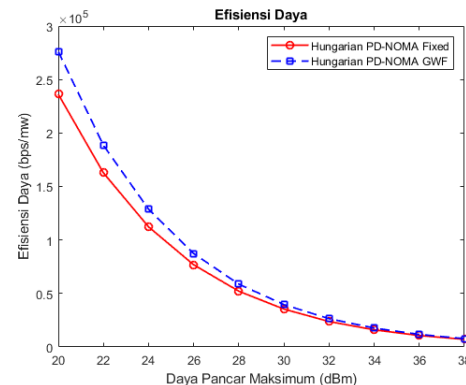
Algoritma	Sum Data Rate (bps)
<i>Hungarian PD-NOMA Fixed</i>	3.417×10^7
<i>Hungarian PD-NOMA GWF</i>	3.832×10^7

c. Efisiensi Daya

Efisiensi daya adalah *data rate* sistem yang dapat dicapai menggunakan daya satu milliwatt. Efisiensi daya dapat dikalkulasikan dengan menggunakan persamaan:

$$ED = \frac{SR}{(C \times P_{c,r}) + (M \times P_{m,r})} \quad (11)$$

dimana ED adalah efisiensi daya pada sistem, SR adalah *sum data rate* sisi CUE dan D2D, C adalah jumlah CUE, M adalah jumlah pasangan D2D, $P_{c,r}$ adalah daya pancar yang dialokasikan untuk komunikasi BS ke CUE dalam suatu RB, dan $P_{m,r}$ adalah daya pancar yang dialokasikan untuk komunikasi pasangan D2D pada suatu RB. Perbandingan hasil efisiensi daya untuk setiap algoritma yang digunakan terhadap variasi daya maksimum pada BS dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Dari grafik yang



Gambar 4. Efisiensi Daya.

dihasilkan terlihat bahwa terjadi penurunan efisiensi daya seiring dengan peningkatan variasi daya maksimum pada BS. Hal tersebut menjelaskan bahwa semakin banyak daya yang digunakan, semakin tidak efisien suatu sistem dalam memanfaatkan daya.

Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata efisiensi daya untuk setiap algoritma. Berdasarkan Tabel 3, hasil efisiensi daya untuk *Hungarian PD-NOMA GWF* lebih baik dibandingkan *Hungarian PD-NOMA Fixed*. Hal tersebut dapat terjadi karena pemanfaatan daya pada metode GWF lebih efektif dibandingkan metode *fixed*. Hal itu karena metode GWF mengalokasikan daya kepada setiap *user* berdasarkan kondisi kanal yang dimiliki *user*. Ketika kanal *user* lemah, maka akan dialokasikan daya yang tinggi sedangkan ketika kanal *user* baik, maka akan dialokasikan daya yang rendah.

Tabel 3. Hasil Efisiensi Daya.

Algoritma	Efisiensi Daya (bps/mw)
<i>Hungarian PD-NOMA Fixed</i>	0.733×10^5
<i>Hungarian PD-NOMA GWF</i>	0.843×10^5

d. Efisiensi Spektral

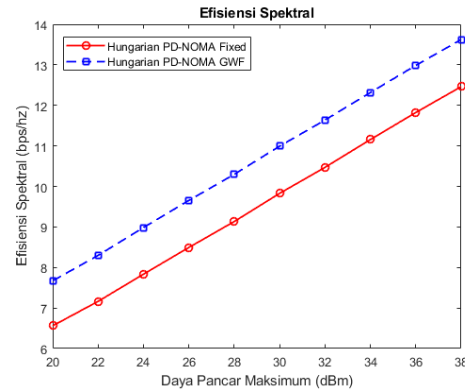
Efisiensi spektral adalah *data rate* sistem yang dapat dicapai menggunakan *bandwidth* satu hertz. Efisiensi spektral pada sistem dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan:

$$ES = \frac{SR}{\Delta f \times R} \tag{12}$$

dimana *ES* adalah efisiensi spektral pada sistem, *SR* adalah *sum data rate* sisi CUE dan D2D, Δf adalah *bandwidth*, dan *R* adalah jumlah RB.

Perbandingan hasil efisiensi spektral untuk setiap algoritma yang digunakan terhadap variasi daya maksimum pada BS dapat ditunjukkan pada Gambar 5. Dari grafik yang dihasilkan terlihat bahwa peningkatan daya maksimum pada BS dapat meningkatkan *sum data rate* sistem. Peningkatan *data rate* sistem dapat meningkatkan efisiensi spektral sistem.

Tabel 4 menunjukkan nilai rata-rata efisiensi spektral untuk setiap algoritma. Berdasarkan Tabel 4, hasil efisiensi daya untuk *Hungarian PD-NOMA GWF* lebih baik dibandingkan *Hungarian*



Gambar 5. Efisiensi Spektral.

PD-NOMA Fixed. Hal tersebut dapat terjadi karena metode pengalokasian GWF memperhatikan kondisi kanal dari masing-masing *user*. Ketika kondisi kanal *user* lemah, *user* akan dialokasikan daya yang tinggi. Ketika kondisi kanal *user* baik, *user* akan dialokasikan daya yang rendah.

Tabel 4. Hasil Efisiensi Spektral.

Algoritma	Efisiensi Spektral (bps/Hz)
<i>Hungarian PD-NOMA Fixed</i>	9.492
<i>Hungarian PD-NOMA GWF</i>	10.647

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan variasi daya maksimum pada BS menghasilkan peningkatan nilai *sum data rate*, efisiensi daya, dan efisiensi spektral.
2. Skema alokasi *resource* menggunakan algoritma *Hungarian* dengan pengalokasian daya menggunakan metode GWF menghasilkan parameter performansi yang paling baik yaitu 3.832×10^7 bps pada *sum data rate user*, 0.843×10^5 bps/mw pada efisiensi daya, dan 10.647 bps/Hz pada efisiensi spektral.
3. Algoritma *Hungarian* dapat memberikan solusi optimal dalam memilih CNR untuk *user*. Metode GWF lebih baik dibandingkan metode *fixed*. Hal tersebut terjadi karena pada metode GWF mengalokasikan daya berdasarkan kondisi kanal *user*. Oleh karena

itu, penggunaan GWF dapat meningkatkan keefektifan sistem dalam menggunakan daya.

REFERENSI

- [1] R. A. MULYADI AND U. K. USMAN, "KOMUNIKASI DEVICE-TO-DEVICE PADA JARINGAN SELULER 5G MENGGUNAKAN MMWAVE," *AVIATION ELECTRONICS, INFORMATION TECHNOLOGY, TELECOMMUNICATIONS, ELECTRICALS, CONTROLS*, VOL. 2, NO. 1, PP. 65-74, 2020.
- [2] A. A. ALGEDIR AND H. H. REFAI, "ENERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION AND DYNAMIC MODE SELECTION ALGORITHMS FOR D2D COMMUNICATION UNDER HETNET IN DOWNLINK REUSE," *IEEE ACCESS*, VOL. 8, PP. 95251-95265, 2020.
- [3] P. MACH, Z. BECVAR AND M. NAJLA, "RESOURCE ALLOCATION FOR D2D COMMUNICATION WITH MULTIPLE D2D PAIRS REUSING MULTIPLE CHANNELS," *IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS LETTERS*, VOL. 8, NO. 4, PP. 1008-1011, 2019.
- [4] J. M. KANG AND I. M. KIM, "OPTIMAL USER GROUPING FOR DOWNLINK NOMA," *IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS LETTERS*, VOL. 7, NO. 5, PP. 724-727, 2018.
- [5] R. A. RIYANDA, SKEMA ALOKASI SUMBER DAYA RADIO JOINT GREEDY DENGAN METODE POWER CONTROL PADA SISTEM KOMUNIKASI D2D UNDERLAYING, 2020.
- [6] J. PARIKH AND A. BASU, "TECHNOLOGIES ASSISTING THE PARADIGM SHIFT FROM 4G TO 5G," VOL. 112, PP. 481-502, 2020.
- [7] T. O. OLASUPO, C. E. OTERO, L. D. OTERO, K. O. OLASUPO AND I. KOSTANIC, "PATH LOSS MODELS FOR LOW-POWER, LOW-DATA RATE SENSOR NODES FOR SMART CAR PARKING SYSTEMS," *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, VOL. 19, NO. 6, PP. 1774-1783, 2018.
- [8] M. S. AL-KAHTANI, L. FERDOUSE AND L. KARIM, "ENERGY EFFICIENT POWER DOMAIN NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS BASED CELLULAR DEVICE-TO-DEVICE COMMUNICATION FOR 5G NETWORKS," *ELECTRONICS*, VOL. 9, NO. 2, P. 237, 2020.
- [9] H. W. KUHN, "THE HUNGARIAN METHOD FOR THE ASSIGNMENT PROBLEM," *NAVAL RESEARCH LOGISTICS QUARTERLY*, VOL. 2, NO. 1-2, PP. 83-97, 1955.