

Alokasi Sumber Daya Dengan Algoritma Iterative Pada Komunikasi D2d Relay Resource Allocation With Iterative Algorithm On D2d Relay Communications

1st Andi Kahfi Basofi
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

andikahfi@student.telkomuniversity.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

Pesatnya perkembangan teknologi membuat beban trafik menjadi kurang optimal pada BS. Hal itu, komunikasi Device to Device (D2D) dapat mengatasi pesatnya jumlah CU. D2D mampu melakukan komunikasi antar device tanpa melalui BS, tetapi dalam komunikasi D2D masih membutuhkan daya yang optimal untuk melakukan komunikasi antar device. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penggunaan relay pada komunikasi D2D dengan alokasi sumber daya berdasarkan algoritma iterative. Kemudian akan di analisis berdasarkan parameter sumrate, spectral efficiency, dan power efficiency. Hasil dari parameter performansi tersebut dibandingkan dengan skema komunikasi half duplex dan full duplex. Pada skema komunikasi D2D menggunakan relay mendapatkan nilai sumrate sebesar $1,486 \times 10^7$ bps, spectral efficiency sebesar 14,860 bps/Hz, dan power efficiency sebesar $2,255 \times 10^4$. Berdasarkan hasil yang di dapatkan bahwa penggunaan relay menggunakan alokasi sumber daya dengan algoritma iterative dapat mengoptimalkan komunikasi D2D dan jika dibandingkan dengan skema komunikasi half duplex dan full duplex, skema komunikasi relay aided lebih unggul berdasarkan nilai sumrate dan spectral efficiency.

Kata Kunci : Device to Device, Relay Aided, Half Duplex, Full Duplex

Abstract

The rapid development of technology makes the traffic load less than optimal on the BS. Therefore, Device to Device (D2D) communication can overcome the rapid number of CUs. D2D is able to communicate between devices without going through the BS, but in D2D communication still requires optimal power to communicate between devices. Therefore, this study proposes the use of relays in D2D communication with resource allocation based on an iterative. Then will be analyzed based on the parameters sumrate, spectral efficiency, and power efficiency. The results of these performance parameters are compared with half duplex and full duplex. In the D2D communication scheme using relay value sumrate $1,486 \times 10^7$ bps, spectral efficiency is 14,860 bps/Hz, and power efficiency $2,255 \times 10^4$. Based on the results obtained that the use of relays using resource allocation with an iterative can optimize D2D communication and when compared with half duplex and full duplex communication schemes, relay aided are superior based on sumrate and spectral efficiency.

Keywords: Device to Device, Relay Aided, Half Duplex, Full Duplex

I. PENDAHULUAN

Pesatnya kemajuan teknologi yang terus berkembang seiring dengan kebutuhan, kemajuan, kecepatan, dan keakuratan dalam memperoleh informasi. Hal tersebut dapat memberatkan trafik pada BS, maka dengan itu untuk menuju jaringan 5G agar meningkatnya konektivitas diperlukan teknologi *device-to-device* (D2D) komunikasi sebagai teknologi yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan trafik pada *eNodeB*.

Komunikasi D2D merupakan komunikasi antar *device* yang dapat berkomunikasi secara langsung tanpa melalui *eNodeB* [1], penggunaan D2D dapat meningkatkan *data rate* disebabkan jarak yang lebih dekat. Hal ini akan meningkatkan *spectral efficiency* dan mengurangi latensi. Pada teknik transmisi sinyal D2D umumnya

menggunakan teknik transmisi *half-duplex* (HD) dan *full duplex* (FD), namun kedua teknik masih belum optimal dalam mengatasi beban *traffic* pada *eNodeB*[2]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan *relay* pada komunikasi D2D dengan alokasi sumber daya berdasarkan algoritma *iterative*. Kemudian akan di analisis berdasarkan parameter *sumrate*, *spectral efficiency*, dan *power efficiency*. Hasil dari parameter performansi tersebut dibandingkan dengan skema komunikasi *half duplex* dan *full duplex*.

II. KAJIAN TEORI

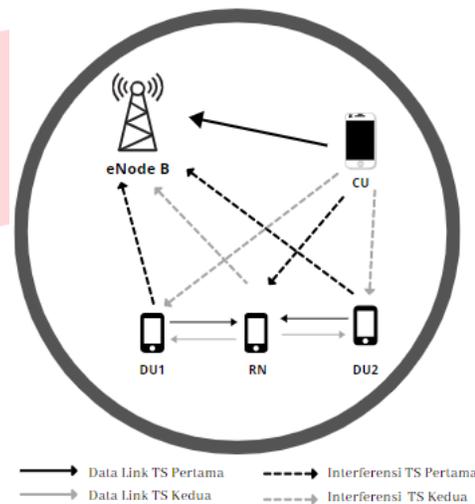
Sistem komunikasi D2D membuat terjadinya banyak interferensi sehingga kualitas dan performa jaringan berkurang. Permasalahan ini menjadi bahan penelitian bagi kalangan orang teknologi untuk mencari solusi terhadap komunikasi ini agar dapat meminimalisir terjadinya performa kurang baik. Pada penelitian [3] dilakukan manajemen interferensi pada komunikasi D2D menggunakan algoritma *Two-phase Auction-based Fair and Interference Allocation* (TAFIRA). Penelitian ini melakukan perbandingan algoritma TAFIRA dengan algoritma lain yaitu algoritma *Minimum Interference* dan algoritma *Random Allocation*. Penggunaan algoritma TAFIRA mengalami interferensi sangat tinggi pada BS ke D2D, tetapi dalam kualitas *sum rate* algoritma TAFIRA masih lebih baik dibandingkan dengan algoritma lainnya. Pada pekerjaan [4] melakukan metode alokasi daya adaptif berdasarkan algoritma optimasi dua fase dan hasil menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan mengungguli algoritma yang sebanding sehingga dapat meningkatkan *data rate* sistem. Penelitian ini akan melakukan pengelompokan daya dengan algoritma *iterative* dengan menggunakan *relay aided* dan akan dibandingkan dengan skema komunikasi *half-duplex* dan *full-duplex* pada D2D

III. METODE

a. Model Sistem

Pada penelitian ini sistem dimodelkan yang terdiri dari satu pasangan D2D (DU₁ dan DU₂), dan terdapat satu *celuler user* (CU) serta satu *base station* (BS).

Pasangan D2D berkomunikasi satu sama lain menggunakan sisi *uplink* yang sama dalam mengalokasikan sumber daya frekuensi dan waktu ke CU. Hal ini menimbulkan beberapa interferensi timbal balik antara *link seluler* dengan *link* D2D seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 Saat memberikan sumber daya uplink, interferensi komunikasi D2D hanya akan mempengaruhi BS. Interferensi ini bisa dikurangi melalui koordinasi pada BS



Gambar 1. Model Sistem

Dalam *relay aided* sebagai tambahan, *Node Relai* ditambahkan diantara pasangan D2D seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, untuk membantu dan meningkatkan komunikasi D2D terdapat interferensi yang terjadi, maka mencapai pengoperasian D2D yang optimal dibutuhkan sistem yang maksimal dalam laju transmisi pada komunikasi D2D dengan melakukan alokasi daya dengan algoritma *iterative*

b. CINR dan Kapasitas

Channel to interference plus noise ratio atau CINR adalah perbandingan pada *gain* suatu saluran komunikasi dengan interferensi dan *noise*, sedangkan kapasitas adalah ukuran suatu data yang dapat dikirimkan melalui media transmisi. Pada perhitungan CINR dan kapasitas dilakukan pada skema komunikasi *half duplex*, *full duplex*, dan *relay aided*.

c. CINR dan Kapasitas HD-D2D

Perhitungan *channel to interference plus noise ratio* (CINR) pada *half duplex* dari D2D dan CU di ketahui dengan persamaan 1 dan 2 [5]

$$\gamma_d = \frac{g_{d1,d2}}{P_c \cdot g_{c,d2} + NW} \quad (1)$$

$$\gamma_c = \frac{g_{c,bs}}{P_d \cdot g_{d1,bs} + NW} \quad (2)$$

dimana $g_{d1,d2}$, $g_{c,bs}$, $g_{c,d2}$ dan $g_{d1,bs}$ menunjukkan saluran *gain* dari DU_1 ke DU_2 , CU ke BS , CU ke DU_2 , dan DU_1 ke BS masing-masing. P_c dan P_d adalah daya pancar CU dan DU masing-masing. N adalah *additive white noise* pada daya spektral, dan W adalah *bandwidth* transmisi.

Adapun untuk menghitung kapasitas pada skema komunikasi *half duplex* dengan persamaan [5]:

$$R_c^{HD} = W \log_2(1 + P_c \cdot \gamma_c) \quad (3)$$

$$R_d^{HD} = W \log_2(1 + P_d \cdot \gamma_d) \quad (4)$$

dimana W adalah *Bandwidth*, P_c dan P_d adalah *transmit power* pada CU dan DU masing-masing, dan γ_c dan γ_d adalah nilai CINR pada DU dan CU .

d. CINR dan Kapasitas FD-D2D

Perhitungan CINR pada *full duplex* dapat dihitung dengan persamaan[5]:

$$\gamma_{di,dj} = \frac{g_{di,dj}}{P_c \cdot g_{c,dj} + P_{di} + NW} \quad (5)$$

Dimana $(i,j) \in (1,2),(2,1)$.

$$\gamma_c = \frac{g_{c,bs}}{P_{d1} \cdot g_{d1,b} + P_{d2} \cdot g_{d2,bs} + NW} \quad (6)$$

Perhitungan kapasitas $D2D$ dan CU pada skema komunikasi *full duplex* dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$R_{di}^{FD} = W \log_2(1 + P_{di} \cdot \gamma_{di}) \quad (7)$$

dimana $i \in \{1,2\}$, dan untuk perhitungan kapasitas pada CU dapat dilakukan dengan persamaan (3) CU pada $HD-D2D$

e. CINR dan Kapasitas RA-D2D

Perhitungan CINR pada *relay aided* saat TS pertama dengan CINR dari DU_1 ke RN dan dari DU_2 ke RN dinyatakan sebagai

$$\gamma_{di,r} = \frac{g_{d,r}}{P_c \cdot g_{c,r} + NW} \quad (8)$$

untuk $i=1$ dan 2 , dengan $g_{d1,r}$, $g_{d2,r}$ and $g_{c,r}$ adalah saluran *gain* dari DU_1 ke RN , DU_2 ke RN , dan CU ke RN .

TS kedua dengan CINR untuk $RU-DU_1$ dan $RU-DU_2$ dinyatakan sebagai

$$\gamma_{r,di} = \frac{g_{r,di}}{P_c \cdot g_{c,di} + NW} \quad (9)$$

dimana $i \in \{1,2\}$, $g_{r,d1}$, $g_{r,d2}$, $g_{c,d1}$ dan $g_{c,d2}$ adalah saluran *gain* dari RN ke DU_1 , RN ke DU_2 , CU ke DU_1 , dan CU ke DU_2 .

Adapun dengan perhitungan CINR pada CU dapat digunakan dengan persamaan [5]:

$$\gamma_c = \frac{g_{c,bs}}{P_{d1} \cdot g_{d1,bs} + P_{d2} \cdot g_{d2,bs} + NW} \quad ; \text{TS 1} \quad (10)$$

$$\gamma_c = \frac{g_{c,bs}}{P_r \cdot g_{r,bs} + NW} \quad ; \text{TS 2} \quad (11)$$

Adapun untuk perhitungan kapasitas pada *relay aided* dapat dilakukan dengan persamaan:

$$R_1^{RA} = W \log_2(1 + \min(P_{d1} \cdot \gamma_{d1,r}, P_{r2} \cdot \gamma_{r,d2})) \quad (11)$$

$$R_2^{RA} = W \log_2(1 + \min(P_{d2} \cdot \gamma_{d2,r}, P_{r1} \cdot \gamma_{r,d1})) \quad (12)$$

Pada perhitungan ini R_1 melakukan perhitungan kapasitas terhadap nilai minimum antara SINR DU_1 ke *relay* dan *relay* ke DU_2 . untuk R_2 dilakukan perhitungan kapasitas terhadap nilai minimum antara nilai SINR DU_2 ke *relay* dan *relay* ke DU_1 . setelah itu dilakukan penjumlahan antara R_1 dan R_2 , maka dengan jumlah keseluruhan tersebut didapatkan nilai kapasitas pada skema simulasi *relay aided*.

$$R_{sum} = R_1^{RA} + R_2^{RA} \quad (13)$$

f. Alokasi daya dengan algoritma Iterative

Pada penelitian ini akan dilakukan alokasi daya dengan menggunakan algoritma *iterative*. Pada saat melakukan alokasi dengan mengambil nilai kapasitas untuk dilakukan alokasi daya pada CU dan $D2D$. Pada skema komunikasi yang tidak menggunakan *relay*, dapat dilakukan alokasi daya dengan menggunakan persamaan

$$P'_d = \min\left\{P_{d,max}, \frac{g_{c,bs}}{\mu \cdot g_{d1,bs}} \cdot \left(P_{c,max} - \frac{NW \mu}{g_{c,bs}}\right)\right\} \quad (14)$$

$$P'_c = \frac{\mu}{g_{c,bs}} \cdot (P'_d \cdot g_{d1,bs} + NW) \quad (15)$$

$$\text{dimana, } \mu = 2^{\left(\frac{R_c}{W}\right)} - 1 \quad (16)$$

Pada skema komunikasi D2D dengan menggunakan bantuan *relay* dapat dilakukan alokasi daya pada CU dengan menggunakan persamaan

$$P'_c = \left(-\mu \cdot (\max\{(P'_d \cdot g_{d1,bs} + P_d^{max} \cdot g_{d2,bs}), 2P_d^{max} \cdot g_{r,bs}\} + NW) \right) \quad (17)$$

Nilai $P'_{d1}, P'_{d2}, P'_{r1}, P'_{r2}$ didapatkan berdasarkan hasil dari *CINR* dan akan dilakukan alokasi daya dengan algoritma yang diusulkan untuk alokasi daya optimal adalah algoritma *iterative*. Nilai dapat diketahui dengan persamaan dibawah:

$$\text{Case 1 : } \gamma_{d1,r} \leq \gamma_{r,d2} \text{ and } \gamma_{d2,r} \leq \gamma_{r,d1} \\ P_{d1} = P_d^{max} \text{ and } P_{d2} = P_d^{max} \\ P_{r2} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d1,r}}{\gamma_{r,d2}} \text{ and } P_{r1} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d2,r}}{\gamma_{r,d1}} \quad (18)$$

$$\text{Case 2 : } \gamma_{d1,r} \leq \gamma_{r,d2} \text{ and } \gamma_{d2,r} \geq \gamma_{r,d1} \\ P_{d1} = P_d^{max} \text{ and } P_{r1} = P_d^{max} \\ P_{r2} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d1,r}}{\gamma_{r,d2}} \text{ and } P_{r1} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{r,d1}}{\gamma_{d2,r}} \quad (19)$$

$$\text{Case 3 : } \gamma_{d1,r} \geq \gamma_{r,d2} \text{ and } \gamma_{d2,r} \leq \gamma_{r,d1} \\ P_{r2} = P_d^{max} \text{ and } P_{d2} = P_d^{max} \\ P_{d1} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{r,d2}}{\gamma_{d1,r}} \text{ and } P_{r1} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d2,r}}{\gamma_{r,d1}} \quad (20)$$

$$\text{Case 4 : } \gamma_{d1,r} \geq \gamma_{r,d2} \text{ and } \gamma_{d2,r} \geq \gamma_{r,d1} \\ P_{r2} = P_d^{max} \text{ and } P_{d2} = P_d^{max} \\ P_{r2} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{r,d2}}{\gamma_{d1,r}} \text{ and } P_{r1} = P_d^{max} \cdot \frac{\gamma_{d2,r}}{\gamma_{r,d1}} \quad (21)$$

Algoritma *iterative* adalah algoritma yang dilakukan secara berulang untuk mendapatkan hasil yang optimal sehingga mendapatkan alokasi daya pada D2D dan *relay*. Hal ini memicu terjadinya pergantian daya pada perangkat agar menghasilkan nilai yang optimal. Berdasarkan kasus 1-4 dapat dilakukan dengan mengikuti *pseudocode* pada gambar 2.

```

Algoritma untuk daya optimal
Data: ε = 0,1 mWatt, Pd1 = Pd2 = Pr1 = Pr2 = Pdmax
Keluaran: P'c, P'd1, P'd2, P'r1, and P'r2
1. Lakukan perhitungan pada Pc
2. Dapatkan daya optimal (P'r1, P'r2, P'd1, P'd2) berdasarkan kasus CINR 1-4
3. Hitung lagi P'c dengan mensubstitusi solusi sub-optimal baru diperoleh dari langkah 2 dalam persamaan Pc
4. If (Pc - P'c) > ε then
    return to step 2
   else
    return P'c, P'd1, P'd2, P'r1, and P'r2
    
```

Gambar 2. Pseudocode algoritma *iterative*

a. Parameter Simulasi

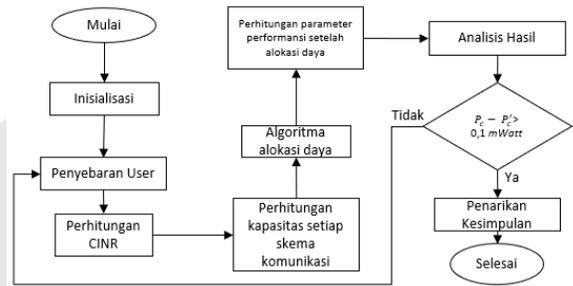
Pada penelitian ini akan menganalisis sistem dengan memvariasikan jarak CU terhadap BS. Variasi dimulai dengan jarak 25m hingga 250m dengan penambahsan jarak setiap 25m. Parameter lainnya memiliki nilai tetap sesuai dengan tabel 1. Skenario ini akan di terapkan di tiga mode diantaranya *half duplex*, *full duplex*, dan *relay aided*.

Tabel 1. Parameter Simulasi.

Parameter	Nilai
Radius Sel	350 m
Jarak dari D2D ke BS	275 m
Jarak CU terhadap BS	25,50,75,...250 m
Jarak antara pasangan D2D	25 m
Daya maksimum CU	24 dBm
Daya maksimum DU	22 dBm
Path Loss Exponen	3
Frekuensi Kerja	2,3 GHz
Noise Power Spectrum Density	-174 dBm/Hz
Channel Bandwidth	1 MHz

g. Alur Simulasi

Simulasi dalam penelitian ini dilakukan melalui berbagai tahap yang dijelaskan pada *flowchart* yang terdapat pada gambar.



Gambar 3. Alur Simulasi

Pada alur simulasi dilakukan tahapan awal dengan inisialisasi, yaitu dengan melakukan penentuan jumlah perangkat pada penelitian dan dilanjutkan dengan penyebaran *user* dan untuk tahapan selanjutnya sesuai pada gambar 2.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

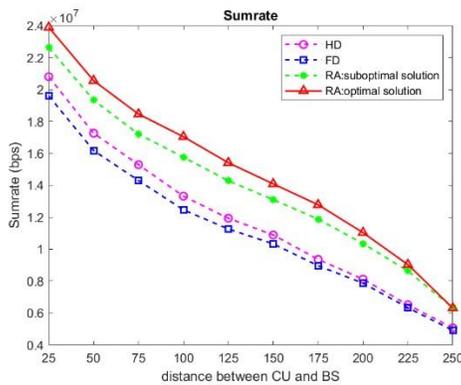
a. Sumrate

Sumrate adalah besarnya jumlah *bit* yang ditransmisikan dalam satu detik. Hasil *data rate* dari CU dan D2D dijumlahkan maka akan menjadi nilai *sumrate*, tetapi jika sistem itu terdapat *relay* maka akan dijumlahkan semuanya. Perhitungan ini sebagai parameter utama yang akan menjadi acuan bagi parameter lain sehingga *sumrate* harus dilakukan secara optimal. adapun persamaanya sebagai berikut [6].

$$SR = R_c + R_d \tag{22}$$

dimana R_c adalah jumlah *data rate* CU ke BS, sedangkan R_d merupakan jumlah keseluruhan *data rate* pada bagian D2D.

Sumrate merupakan parameter utama yang akan menjadi acuan bagi parameter lain sehingga *sumrate* harus dilakukan secara optimal. Pada perhitungan *sumrate* di skenario 1 menjelaskan perbandingan ketiga skema komunikasi yaitu *half duplex*, *full duplex*, *relay aided* sebelum dilakukan alokasi daya dan *relay aided* setelah dilakukan alokasi daya.



Gambar 4. Hasil *Sumrate*.

Grafik pada gambar 3 menunjukkan bahwa penggunaan bantuan *relay* dengan alokasi daya yang optimal memiliki nilai *sumrate* yang tinggi dibandingkan skema komunikasi *half duplex*, *full duplex*, dan *relai aided* sebelum dialokasi daya. Hal ini disebabkan adanya bantuan *relay* diantara pengguna D2D dan adanya pengoptimalan pada daya sehingga skema komunikasi ini sangat efisien digunakan dan mendapatkan nilai SINR yang tinggi. Grafik juga sangat terlihat jelas bahwa semakin jauh jarak CU terhadap BS maka nilai *sumrate* nya akan semakin kecil.

Penggunaan skema komunikasi *full duplex* mendapatkan nilai *sumrate* yang paling kecil disebabkan terjadinya komunikasi dua arah sehingga mengalami banyak interferensi dan mengakibatkan niali SINR yang rendah.

Tabel 2. Hasil rata-rata *sumrate*.

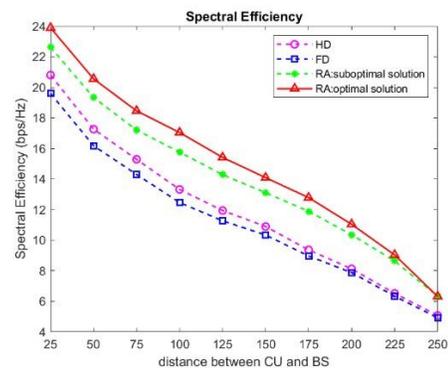
Communication Scheme	Sumrate (bps)
Half Duplex	1,186 x 10 ⁷
Full Duplex	1,121 x 10 ⁷
Relay Aided: Suboptimal Solution	1,395 x 10 ⁷
Relay Aided: Optimal Solution	1,486 x 10 ⁷

b. *Spectral Efficiency*

Spectral efficiency adalah besarnya *data rate* atau efisiennya suatu sistem yang dapat ditransmisikan dalam *bandwidth* yang teralokasikan dalam sistem. Adapun persamaan (19) akan digunakan pada perhitungan *spectral efficiency*.

$$\mu = \frac{SR}{BW} \tag{23}$$

diaman SR adalah *sumrate* keseluruhan pada CU dan D2D, dan BW adalah *Bandwidth* yang digunakan pada sistem yang dirancang. Pada perhitungan *spectral efficiency* di skenario 1 menjelaskan perbandingan ketiga skema komunikasi yaitu *half duplex*, *full duplex*, *relay aided* sebelum dilakukan alokasi daya dan *relay aided* setelah dilakukan alokasi daya.



Gambar 5. Hasil *Spectral Efficiency*.

Grafik pada gambar 4 menunjukkan bahwa penggunaan bantuan *relay* dengan alokasi daya

yang optimal merupakan sistem yang paling efisien dibandingkan dengan skema komunikasi *half duplex*, *full duplex*, dan *relay aided* sebelum alokasi daya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *relay* merupakan solusi dalam segi *spectral efficiency*. Pada gambar 4 menjelaskan juga bahwa grafik terlihat jelas menunjukkan jika jarak CU semakin jauh terhadap BS maka nilai *spectral efficiency* semakin menurun.

Tabel 3. Hasil rata-rata *spectral efficiency*

Skema komunikasi	Spectral Efficiency (bps/Hz)
Half Duplex	11,857
Full Duplex	11,212
Relay Aided: Suboptimal Solution	13,949
Relay Aided: Optimal Solution	14,860

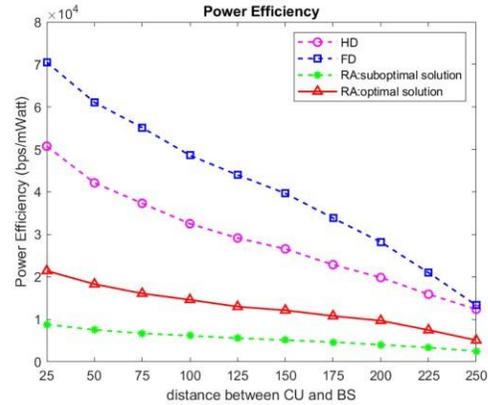
c. Power Efficiency

Power efficiency adalah besar nilai *data rate* sistem yang dapat dicapai dengan menggunakan daya satu *watt*. Persamaan 20 digunakan untuk mengetahui nilai *power efficiency* pada sistem.

$$\eta = \frac{SR}{P_c + P_d} \quad (24)$$

dimana *SR* adalah sumrate yang berasal dari jumlah keseluruhan *data rate* sedangkan pada bagian penyebut adalah total daya yang digunakan pada sistem yang dimana *P_c* dan *P_d* merupakan daya pengirim CU dan D2D.

Pada gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan *power efficiency* terhadap tiga skema komunikasi berdasarkan jarak CU terhadap BS. Perubahan jarak mempengaruhi nilai *power efficiency* sesuai dengan grafik yang semakin jauh dari BS, maka nilai *power efficiency* semakin menurun. Hal ini disebabkan nilai *sumrate* yang semakin menurun sehingga terjadi pelemahan daya terhadap sistem.



Gambar 6. Hasil *Power Efficiency*.

Grafik menunjukkan bahwa skema komunikasi *full duplex* memiliki nilai tertinggi yang bisa diartikan sebagai penggunaan daya yang efisien dibandingkan dengan skema komunikasi *half duplex* dan *full duplex*, hal ini disebabkan hanya menggunakan dua daya pengirim yaitu daya CU dan D2D saat setelah dilakukan alokasi. Adapun grafik yang terendah berada pada skema *relay aided* sebelum dilakukan alokasi, hal ini terjadi disebabkan menggunakan tiga daya yaitu daya pada CU, D2D, dan *relay* sehingga skema ini kurang efisien dibandingkan dengan skema *half duplex* dan *full duplex*, tetapi tetap menjadi skema yang menguntungkan karena dilakukan alokasi daya yang dapat meningkatkan *power efficiency*.

Tabel 4. Hasil rata-rata *power efficiency*

Skema komunikasi	Power Efficiency (bps/mWatt)
Half Duplex	2,894 x 10 ⁴
Full Duplex	4,154 x 10 ⁴
Relay Aided: Suboptimal Solution	5,431 x 10 ³
Relay Aided: Optimal Solution	2,255 x 10 ⁴

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi terhadap penggunaan *relay* dan dibandingkan dengan skema komunikasi *half*

duplex dan *full duplex*, skema ini dilakukan alokasi daya dengan menggunakan algoritma *iterative*.

2. Penelitian ini dengan melakukan variasi jarak terhadap BS menunjukkan bahwa semakin jauh jarak CU terhadap BS maka akan mengalami penurunan *sumrate*, *spectral efficiency*, dan *power efficiency*. Pada skenario ini juga menunjukkan bahwa dengan penggunaan *relay* memiliki nilai *sumrate* dan *spectral efficiency* yang tinggi dibandingkan skema *half duplex* dan *full duplex*. Adapun pada parameter *power efficiency* sedikit mengalami nilai yang menurun.
3. Penggunaan alokasi daya dengan algoritma *iterative* pada *relay* dapat meningkatkan nilai pada parameter performansi dibandingkan dengan skema komunikasi *half duplex* dan *full duplex*. Hal ini disebabkan adanya penguat daya pada *relay* yang dapat di optimalkan dalam melakukan komunikasi sehingga nilai kapasitas meningkat.

- [6] W. Maulani, A. Fahmi, and V. Sigit, "Algoritma alokasi sumber daya berbasis minimum interferensi menggunakan metode dua-hop pada komunikasi d2d," *eProceedings of Engineering*, vol.6, no.2, 2019.

REFERENSI

- [1] M. R. AZMI, "Efisiensi energi jaringan hybrid kooperatif device to device pada teknologi 5g," *ETD Unsyiah*, 2019
- [2] H. Chour, Y. Nasser, O. Bazzi, and F. Bader, "Full-duplex or half-duplex d2d mode? Closed form expression of the optimal power allocation," in 2018 25th International Conference on Telecommunications (ICT). IEEE, 2018, pp. 498-504.
- [3] I. G. A. Pratama, A.Fahmi, and V.Sigit, "Manajemen interferensi pada komunikasi device-to-device menggunakan algoritma two-phase auction-based fair and interference allocation," *eProceedings of Engineering*, vol.6, no.2,2019.
- [4] B.-Y. Huang, S.-T. Su, C.-Y. Wang, C.-W. Yeh, and H.-Y. Wei, "Resource allocation in d2d communication-a game theoretic approach," in 2014 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC). IEEE, 2014, pp.483-488
- [5] F. Yassine, O. Bazzi, and Y. Nasser, "Performance analysis of relayed d2d communications under power control," in 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). IEEE, 2020, pp.377-381