

# Analisis Kinerja Alokasi Sumber Daya Radio Menggunakan Teorema *Graph* Untuk Sistem Komunikasi Device-To-Device

1<sup>st</sup> Bayu Ardiansyah R  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

ardiansyahrahma@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Nachwan Mufti Adriansyah  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

nachwanma@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Vinsensius Sigit Widhi Prabowo  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

vinsensiusvsw@telkomuniversity.ac.id

Dengan meningkatnya jumlah pengguna yang mengakses internet menyebabkan kepadatan traffic pada base station (BS). *Device-to-Device* (D2D) merupakan salah satu cara mengatasi masalah tersebut. D2D merupakan komunikasi antar user satu dengan user lain tanpa melalui BS secara langsung. Namun D2D memiliki masalah *interferensi* antar pengguna dikarenakan satu *resource block* (RB) digunakan oleh satu *Cellular User Equipment* (CUE) dan *D2D User Equipment* (DUE) secara bersamaan. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi masalah *interferensi* yang terjadi dengan cara mengalokasikan *resource* dengan menggunakan algoritma *greedy* dan algoritma *graph*. Skema simulasi yang digunakan untuk mengalokasikan *resource* pada sistem komunikasi D2D *underlay* dengan arah komunikasi *uplink*. Pekerjaan ini menggunakan skenario penambahan jumlah pasangan D2D. Parameter simulasi yang digunakan adalah *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi daya dan *fairness*. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, algoritma *graph* memperoleh hasil yang kurang baik dibandingkan dengan algoritma *greedy*. Algoritma *graph* memperoleh nilai *sumrate*  $7,8 \times 10^7$  bps, efisiensi spektral sebesar 10,8334 bps/Hz, efisiensi daya sebesar  $9,1894 \times 10^3$  bps/mWatt. Namun pada algoritma *graph* unggul dari segi *fairness* total sebesar 0,8766 lebih baik dari algoritma *greedy*.

**Kata kunci** — *resource allocation, device-to-device, algoritma graph, algoritma greedy*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi sangat pesat. Salah satunya adalah perkembangan komunikasi *wireless* mengalami peningkatan jumlah pengguna yang mengakses internet. Meningkatnya jumlah pengguna berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah traffic data pada sebuah jaringan yang nantinya akan membebani *Base Station* (BS) atau *Evolved Node B* (eNB). Oleh karena itu dibutuhkan sebuah solusi untuk mengatasi masalah tersebut salah satunya adalah teknologi yang terdapat pada komunikasi seluler generasi ke-lima (5G) yaitu *Device to Device* (D2D).

D2D merupakan sebuah teknologi di bawah kendali BS yang memungkinkan komunikasi langsung antar pengguna pada jarak pendek tanpa melalui BS [1]. Pada

sistem komunikasi D2D *underlay* di mana pengguna seluler akan menggunakan *spectrum frekuensi* yang sama dengan pengguna D2D. Sistem komunikasi D2D *underlay* dapat meningkatkan efisiensi spektral dan meningkatkan kapasitas sistem [2]. Namun pada komunikasi D2D *underlay* menyebabkan gangguan antar pengguna D2D dan pengguna seluler. Salah satu gangguan yang terjadi adalah masalah *interferensi* antar perangkat seluler jika *resource* tidak dialokasikan secara benar [3].

Pada penelitian ini, penulis mengusulkan untuk melakukan alokasi *resource* dengan menggunakan algoritma *graph* dan algoritma *greedy* pada arah *uplink*. Proses alokasi dengan algoritma *graph* dimulai dengan mencari CUE dan pasangan DUE dengan nilai *interferensi* terbesar. Selanjutnya, dilakukan alokasi *resource* dengan berdasarkan *interferensi* terbesar terlebih dahulu hingga seluruh CUE dan pasangan DUE mendapat *resource*. Dengan demikian dapat meminimalkan *interferensi* yang terjadi serta meningkatkan *sumrate*, efisiensi daya, efisiensi spektral, dan juga *fairness* antar pengguna.

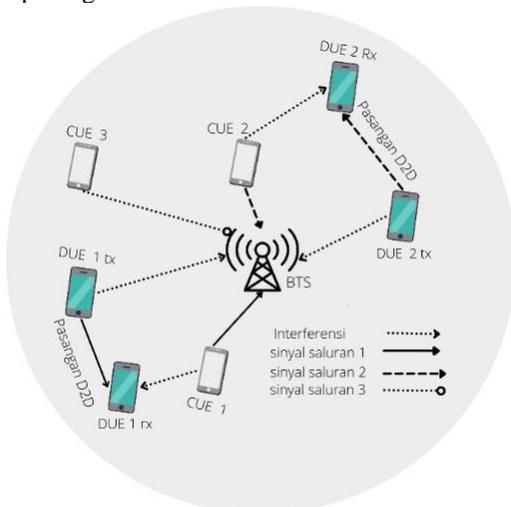
## II. KAJIAN TEORI

Pada sistem komunikasi D2D dapat mengurangi beban *traffic* pada BS, dengan cara mengalokasikan *resource block* secara adil dan tepat. Namun pada komunikasi D2D yang menggunakan *resource block* secara bersamaan menyebabkan masalah *interferensi*. Pada penelitian [4] mengusulkan skema grafik *interferensi* antara pengguna D2D yang berdasarkan teori *graph coloring*. Dengan tujuan untuk mengatasi masalah konsumsi daya yang tinggi pada perangkat seluler yang tinggi dan meningkatkan *fairness* pengguna sementara menjamin kebutuhan pelayanan antar pengguna seluler dapat dijamin dengan baik. Pada penelitian [5] mengusulkan untuk mengalokasikan *resource* dengan menggunakan metode berbasis dengan teori *graph* pada skema Full-Duplex (FD). Hasil menunjukkan skema yang dijalankan meningkatkan *sumrate* dengan cara memilih node terbanyak atau terendah.

### III. METODE

#### A. Model Sistem

Model sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah *single cell* dimana satu BS ditempatkan di tengah tengah *cell* dengan dikelilingin CUE dan pasangan DUE yang tersebar secara acak. Pada komunikasi D2D ketika CUE ingin berkomunikasi dengan BS dan ketika DUE berkomunikasi dengan pasangan DUE maka akan menyebabkan interferensi. Gambar 1 menunjukkan bahwa sistem ini berkerja dengan mode sistem komunikasi *underlay* dengan arah komunikasi *uplink* sehingga interferensi yang terjadi pada sistem diakibatkan karena keadaan *cell* yang terisolasi. Ketika CUE 1 akan mengirimkan data menuju BS maka akan terjadi sebuah interferensi pada DUE 1 tx menuju ke BS dan ketika DUE 1 tx akan mengirimkan data menuju DUE 1 rx maka akan terjadi sebuah interferensi di DUE 1 rx oleh CUE 1. Sehingga pada sistem komunikasi D2D *underlay* satu CUE dan satu pasangan DUE menggunakan saluran yang sama dan saling berbagi RB. Pada model sistem penelitian menggunakan *threshold* sebagai ambang batas sinyal yang akan digunakan untuk membangun interferensi CUE dan interferensi pasangan DUE.



GAMBAR 1. Model Sistem

#### B. Perhitungan Pathloss, Channel Gain dan SINR

*Pathloss* merupakan melemahnya kekuatan daya sinyal informasi ketika melewati medium udara pada saat proses *transmisi* sinyal. Nilai *pathloss* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [6]:

$$PL = 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + \log_{10}(fc) \quad (1)$$

dimana  $d$  merupakan jarak antara pengirim dengan penerima dalam (m) dan  $fc$  merupakan frekuensi *carrier* (Ghz). Channel gain antara saluran  $x$  dengan  $y$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$G_{x,y} = PL^{(x,y)} - h^{(x,y)} \quad (2)$$

dimana  $PL^{(x,y)}$  merupakan *pathloss* dan  $h^{(x,y)}$  merupakan *zero mean* dengan variable acak *gaussian* dan unit variansi yang merupakan karakteristik dari *reyleigh fading*.

*Signal to Noise and Interference Ratio* (SINR) merupakan merupakan ratio perbandingan dari sebuah sinyal terhadap interferensi dan di tambah dengan *noise*. Rumus SINR dapat di tuliskan dalam persamaan berikut [7]:

$$SINR = \frac{S}{I + N} \quad (3)$$

$S$  merupakan daya terima sinyal utama yang didapatkan dari perkalian antara daya pancar dengan gainnya,  $I$  adalah daya sinyal pengganggu yang merupakan perkalian antara daya pancar sinyal pengganggu dengan gainnya sedangkan  $N$  merupakan noise yang diterima.

#### C. Algoritma Greedy

Algoritma *greedy* merupakan algoritma yang biasa digunakan untuk mengalokasikan user secara optimal. Algoritma *greedy* berkerja dengan mengalokasikan RB yang tersedia dengan memilih nilai *sumrate* terbesar maksimal pengguna CUE dan DUE secara bersamaan. Oleh karena itu algoritma *greedy* dapat mengalokasikan user secara optimal. Selanjutnya proses berlangsung hingga semua DUE teralokasi secara maksimal terhadap CUE. RB yang sudah dialokasikan kepada pasangan DUE tidak dapat digunakan oleh pasangan DUE yang lain.

#### D. Algoritma Graph

Pada algoritma *graph* tiap simpul atau titik dalam *graph* akan mewakili CUE dan pasangan DUE sedangkan untuk *edge* / tepi mewakili interferensi yang terjadi antara dua buah simpul yang terhubung, sehingga dapat mencegah interferensi yang terjadi di karenakan tidak mungkin menggunakan saluran yang sama secara bersamaan [8]. Untuk membangun sebuah tepi, nilai sinyal yang diinginkan terhadap interferensi harus berapa di dibawah nilai *threshold* yang sudah ditetapkan sehingga tepi akan terbentuk. CUE dan pasangan DUE akan membentuk *edge* apabila memenuhi persamaan berikut [3]:

$$\frac{P^c G_x^c}{P^d G_b^t} < threshold \quad (4)$$

$P^c$  merupakan daya pancar CUE,  $G_x^c$  merupakan gain dari CUE ke eNB,  $P^d$  daya pancar DUE,  $G_b^t$  merupakan gain dari D2D transmit b ke eNB.

#### E. Sumrate

*Sumrate* merupakan besarnya jumlah bit yang ditransmisikan per satu detik. Nilai dari data rate CUE dan data rate DUE di jumlahkan sehingga menjadi *sumrate*. *Sumrate* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$SR = Rc + Rd \quad (5)$$

Dimana  $SR$  merupakan *sumrate* sedangkan  $Rc$  merupakan *data rate* CUE dan  $Rd$  merupakan *data rate* DUE. *Data rate* CUE dan DUE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Rc = W \log_2(1 + (SINR_c^n)), \quad (6)$$

$$Rd = W \log_2(1 + (SINR_d^n)), \quad (7)$$

$Rc$  merupakan data rate CUE dan  $Rd$  merupakan data rate DUE, sedangkan  $W$  merupakan Bandwith yang digunakan oleh sistem.

#### F. Efisiensi Spektral

Spektral efisiensi merupakan perbandingan antara kapasitas total dengan bandwith dikali dengan RB. Efisiensi spektral dapat di tuliskan dalam persamaan sebagai berikut [9]:

$$SE = \frac{SR}{W \cdot RB} \text{ bits/s/Hz.} \quad (8)$$

SE merupakan efisiensi spektral, sedangkan SR merupakan *sum rate*,  $W$  merupakan *bandwidth* sistem yang digunakan, dan  $RB$  merupakan *resource block* yang digunakan.

### G. Efisiensi Daya

Efisiensi daya merupakan seberapa besar efisiensi daya yang dibutuhkan pada saat mentransmisikan data. Efisiensi daya dapat di tuliskan dalam persamaan sebagai berikut [9]:

$$SE = \frac{SR}{P_{tot}} \text{ bits/s/mWatt.} \quad (9)$$

$P_{tot}$  merupakan total daya yang dikirimkan dapat di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{tot} = (P_D \cdot D) + (P_C \cdot C). \quad (10)$$

$P_D$  adalah daya pancar DUE,  $D$  merupakan jumlah DUE,  $P_C$  adalah daya pancar CUE dan  $C$  merupakan jumlah CUE.

### H. Fairness

*Fairnes* merupakan keadilan yang di peroleh oleh tiap tiap user untuk mendapatkan *resource* secara adil. Pada persamaan 10 untuk mengetahui apakah algoritma yang di gunakan sudah memenuhi parameter *fairness* maka di gunakan rumus *Jain's Fairness Index* [7]:

$$J = \frac{((\sum_{d=1}^D C_d)^2)}{(D \cdot (\sum_{d=1}^D C_d^2))} \quad (11)$$

$C_d$  merupakan kapasitas dan  $D$  merupakan total jumlah user pada sistem.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini melakukan alokasi resource dengan menggunakan lagoritma graph dengan algoritma greedy. Hasil kedua lagoritma dibandingkan untuk mengatehui kinerja masing masing algoritma. Tabel 1. Merupakan parameter simulasi yang digunakan.

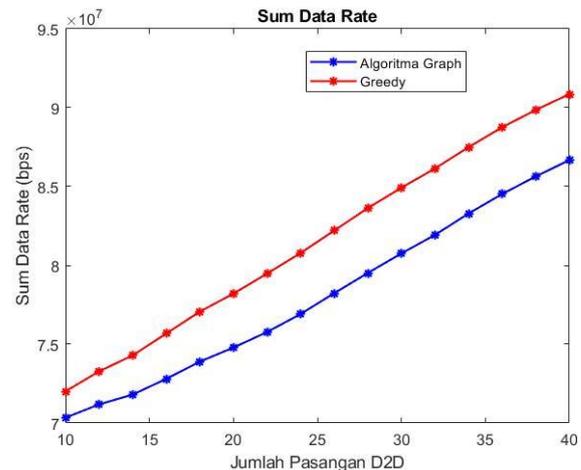
TABEL 1. Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Radius cell	500 m
Jumlah CUE	40
Jumlah DUE	10,12,14,..., 40
Frekuensi kerja	2.3 Ghz
Fading Channel	Rayleigh fading
Pathloss	Model UMI
Daya pancar CUE	23 dBm
Daya pancar DUE	12 dBm
Threshlod	20 dB
Jarak maksimal pasangan D2D	25 m
Jarak mimimal pasangan D2D	5 m
Bandwidth RB	180 KHz
Bandwidth Sistem	8 Mhz

### A. Sumrate

Sumrate merupakan besarnya jumlah bit yang di transmisikan per satu detik. Nilai dari datarate CUE dan nilai datarate DUE di jumlahkan sehingga menghasilkan nilai

sumrate. Sumrate dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5. Gambar 3 merupakan grafik merupakan perbandingan sumrate antara algoritma greedy dengan algoritma graph.



GAMBAR 3. Sumrate

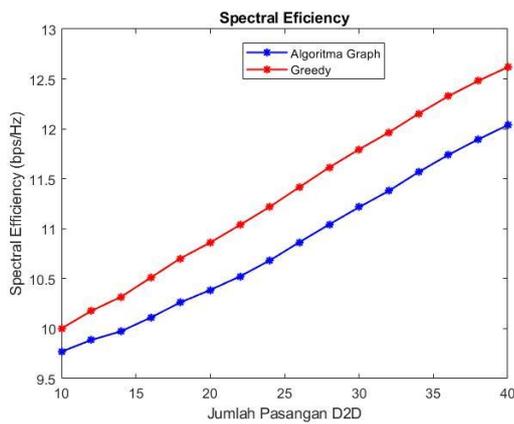
TABEL 2. Perbandingan sumrate

Algoritma	Sumrate (bps)	Kenaikan Kinerja
Greedy	$8,1537 \times 10^7$	4,24%
Graph	$7,8 \times 10^7$	

Pada tabel 2 dan gambar 3 menunjukkan bahwa algoritma *greedy* lebih unggul dari algoritma *graph*. Hasil alokasi *resource* dengan algoritma *greedy* mendapatkan nilai *sumrate* sebesar  $8,1537 \times 10^7$  bps. Sedangkan hasil alokasi *resource* dengan menggunakan algoritma *graph* mendapat nilai *sumrate* sebesar  $7,8000 \times 10^7$  bps. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa algoritma *greedy* lebih unggul 4,24% dari pada algoritma *graph*. Algoritma *greedy* lebih unggul dikarenakan skema alokasi algoritma *greedy* yang mengalokasikan *resource* dengan nilai maksimal *sumrate* pengguna CUE dan DUE secara bersamaan. Sedangkan algoritma *graph* mengalokasikan *resource* dimulai dengan mencari banyaknya SIR yang berada dibawah nilai *threshlod* untuk kemudian digunakan untuk mengalokasikan nilai *sumarate* dengan nilai maksimalnya.

### B. Efisiensi Spektral

Efisiensi spektral merupakan perbandingan antara kapasitas total dengan bandwith dikali dengan  $RB$ . Efisiensi spektral dapat di hitung dengan menggunakan persamaan 8. Gambar 4 merupakan perbandingan efisiensi spektral dari algoritma *greedy* dan algoritma *graph*.



GAMBAR 4. Efisiensi spektral

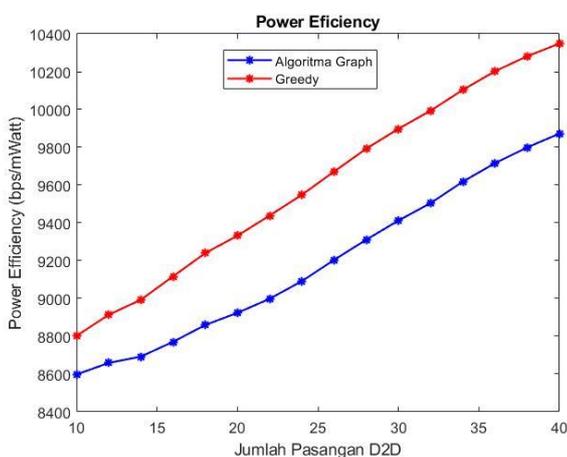
TABEL 3. Perbandingan efisiensi spectral

Algoritma	Spectral Efficiency (bps/Hz)	Kenaikan Kinerja
Greedy	11,3246	4,24%
Graph	10,8334	

Pada gambar 4 dan tabel 3 menunjukkan bahwa algoritma *greedy* memiliki hasil lebih baik dari pada algoritma *graph*. Hasil spektral efisiensi pada algoritma *greedy* yaitu 11,3246 bps/Hz sedangkan nilai efisiensi spektral dari algoritma *graph* yaitu 10,8334 bps/Hz. Algoritma *greedy* lebih baik 4,24% dibandingkan dengan algoritma *graph*. Sama halnya dengan nilai *sumrate* dari algoritma *greedy* yang lebih baik dibandingkan algoritma *graph* maka nilai efisiensi spektral menjadi lebih baik ketika menggunakan algoritma *greedy*. Hal tersebut dapat terjadi karena efisiensi spektral dipengaruhi oleh nilai *sumrate*. Sehingga apabila nilai *sumrate* algoritma *greedy* lebih baik maka nilai efisiensi spektral menjadi lebih baik juga.

C. Efisiensi Daya

Efisiensi daya merupakan besarnya daya yang di transmisikan tiap bps dibagi wattnya. Efisiensi daya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9. Gambar 5 merupakan hasil perbandingan efisiensi daya dari algoritma *greedy* dengan algoritma *graph*.



GAMBAR 5. Efisiensi Daya

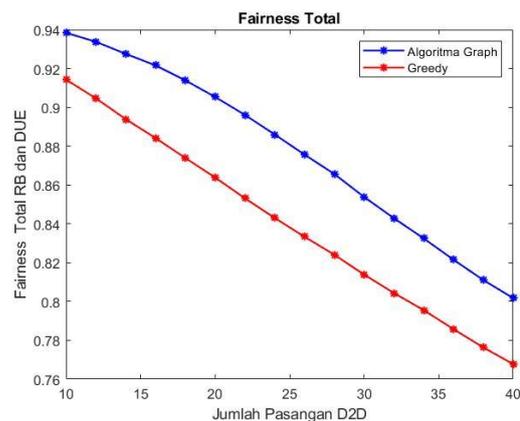
TABEL 4. Perbandingan Efisiensi Daya

Algoritma	Power Efficiency (bps/mWatt)	Kenaikan Kinerja
Greedy	$9,6047 \times 10^3$	4,31%
Graph	$9,1894 \times 10^3$	

Pada gambar 5 dan tabel 4 menunjukkan hasil algoritma *greedy* lebih baik di dibandingkan dengan algoritma *graph*. Nilai efisiensi daya yang didapatkan oleh algoritma *greedy* yaitu  $9,6047 \times 10^3$  bps/mWatt. Sedangkan nilai efisiensi daya yang didapatkan oleh algoritma *graph* yaitu  $9,1894 \times 10^3$  bps/mWatt. Dari hasil tersebut algoritma *greedy* lebih unggul 4,31% dari algoritma *graph*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan efisiensi daya dipengaruhi oleh nilai *sumrate*. Sehingga seiring dengan bertambahnya pengguna DUE maka grafik *sumrate* akan naik, begitu juga dengan nilai dan grafik pada efisiensi daya.

D. Fairness

*Fairnes* pada sisi BS dan DUE merupakan keadilan yang didapatkan oleh CUE dan DUE dalam memperoleh *resource* yang di pengaruhi oleh nilai kapasitas CUE, kapasitas DUE, jumlah CUE dan jumlah DUE. *Fairness* total dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11.



GAMBAR 6. Fairness

TABEL 5. Perbandingan Fairness

Algoritma	Fairness Total	Kenaikan Kinerja
Greedy	0,8394	
Graph	0,8766	4,68 %

Pada gambar 6 dan tabel 5 menunjukkan bahwa *fairness* total hasil yang lebih baik dengan menggunakan algoritma *graph*. Algoritma *greedy* kurang mampu untuk mendapatkan hasil baik seperti pada nilai *sumrate*, efisiensi spektral, dan efisiensi daya. Algoritma *greedy* mendapat nilai *fairness* sebesar 0,8394, sedangkan nilai *fairness* algoritma *graph*

sebesar 0,8766 atau sekitar 4,68% lebih baik. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan algoritma *graph* mengalokasikan RB berdasarkan hubungan interferensi yang terjadi sehingga kapasitas CUE dan kapasitas DUE yang dialokasikan lebih adil di bandingkan dengan algoritma *greedy*.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa

- A. Penambahan jumlah DUE pada skenario pertama dapat meningkatkan nilai *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi daya dan *fairness*. Hal tersebut dapat terjadi karena jumlah pasangan DUE yang bervariasi meningkatkan nilai SINR yang didapatkan.
- B. Skema alokasi *resource* menggunakan algoritma *greedy* memperoleh hasil yang lebih baik dari segi *sumrate* sebesar  $8,1537 \times 10^7$  bps, efisiensi spektral sebesar 11,3246 bps/Hz, efisiensi daya  $9,6047 \times 10^3$  bps/mWatt. Disisi lain algoritma *graph* lebih unggul dari segi *fairness* 0,8766 dari algoritma *greedy*.
- C. Alokasi *resource* menggunakan algoritma *graph* bukan solusi terbaik untuk mengalokasikan *resource*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan algoritma *graph* mengalokasikan *resource* berdasarkan interferensi yang terjadi antara CUE dan DUE, sehingga memungkinkan user yang teralokasi memiliki nilai *sumrate* yang maksimal.

## REFERENSI

- [1] R. M. Alsharfa, S. L. Mohammed, S. K. Gharghan, I. Khan, and B. J. Choi, "Cellular-d2d *resource* allocation algorithm based on user fairness," *Electronics*, vol. 9, no. 3, p. 386, 2020.
- [2] C. Xu, L. Song, and Z. Han, *Resource management for device-to-device underlay communication*. Springer, 2014.
- [3] H. Zhang, L. Song, Z. Han, and Y. Zhang, "Radio *resource* allocation for device-to-device underlay communications," in *Hypergraph Theory in Wireless Communication Networks*. Springer, 2018, pp. 21–39.
- [4] R. M. Alsharfa, S. L. Mohammed, S. K. Gharghan, I. Khan, and B. J. Choi, "Cellular-d2d *resource* allocation algorithm based on user fairness," *Electronics*, vol. 9, no. 3, p. 386, 2020.
- [5] H.-B. Jeon, B.-H. Koo, S.-H. Park, J. Park, and C.-B. Chae, "Graph-theory-based *resource* allocation and mode selection in d2d communication systems: The role of full-duplex," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 2, pp. 236–240, 2020.
- [6] U, "2135: Guidelines for evaluation of radio interface technologies for imtadvanced," Report ITU, 2009.
- [7] F. Boabang, H.-H. Nguyen, Q.-V. Pham, and W.-J. Hwang, "Network-assisted distributed fairness-aware interference coordination for device-to-device communication overlaid cellular networks," *Mobile Information Systems*, vol. 2017, 2017.
- [8] solkas, E. Liotou, N. Passas, and L. Merakos, "A *graph*-coloring secondary *resource* allocation for d2d communications in lte networks," in 2012 IEEE 17th international workshop on computer aided modeling and design of communication links and networks (CAMAD). IEEE, 2012, pp. 56–60.
- [9] S. Sasikumar, "Genetic algorithm-based joint spectral-energy efficiency optimisation for 5g heterogeneous network," *International Journal of Electronics*, vol. 108, no. 6, pp. 887–907, 2021.