

Analisis Kinerja Alokasi Sumber Daya Pada Orientasi Kluster Untuk Komunikasi Device-To-Device

^{1st} Aldo Milleano

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

aldomilleano@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

Peningkatan jumlah perangkat seluler terus mengalami bertambah. Ini akan menambah beban kerja dari *Base Station* (BS). Salah satu solusi yang ada adalah komunikasi *Device To Device* (D2D). D2D memungkinkan komunikasi seluler antar perangkat dalam jarak dekat tanpa melalui *base station* secara langsung. Teknologi ini memiliki kekurangan yaitu interferensi yang terjadi karena *Cellular User* (CU) dan *D2D User* (DU) menggunakan *resource* yang sama. Tugas akhir ini mengusulkan untuk menggunakan saluran berorientasi kluster pada komunikasi *downlink* dengan 2 skenario. Skenario pertama dengan memvariasikan jumlah DU dan skenario kedua dengan memvariasikan radius *cell*. Algoritma *Greedy*, Algoritma 8 *Clustering*, dan Algoritma 4 *Clustering* digunakan untuk membandingkan hasil alokasi *resource* pada sistem komunikasi *underlay*. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma 8 *clustering* dan 4 *clustering* tidak berpengaruh besar untuk meningkatkan nilai *sumrate*, efisiensi daya, efisiensi spektral, dan *fairness*. Pada simulasi yang dijalankan, algoritma *greedy* mengungguli algoritma 8 *clustering* dan algoritma 4 *clustering* untuk parameter *sumrate* dengan nilai $1,64708 \times 10^8$ bps, efisiensi daya dengan nilai 3326,49 bps/mWatt, efisiensi spektral dengan nilai 9,1504 bps/Hz, dan *fairness* dengan nilai 0,5430.

Kata kunci— *device to device, algoritma greedy, algoritma 8 clustering, algoritma 4 clustering, alokasi resource*

I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi telekomunikasi sudah mengalami banyak perubahan, baik dari segi teknologi yang digunakan maupun peningkatan jumlah perangkatnya. Menurut data dari Badan Pusat Statistik, jumlah perangkat telepon seluler di Indonesia selama tahun 2016-2017 mengalami peningkatan. Sementara tahun 2018 mengalami penurunan, kemudian terjadi peningkatan kembali pada tahun 2019-2020 sebesar 4,20%. Sementara itu Kementerian Komunikasi dan Informatika juga memberikan data jumlah perangkat seluler pada tahun 2020 mencapai 355,620,388 perangkat. Artinya perangkat seluler di Indonesia sudah melebihi jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2020 yang mencapai kurang lebih 270 juta jiwa [1].

Berdasarkan dua data yang telah ada maka akan semakin banyak pengguna seluler dari tahun ke tahun. Peningkatan jumlah pengguna ini akan mengakibatkan kepadatan lalu lintas jaringan yang berdampak pada meningkatnya beban kerja dari *Base Station* (BS). Oleh karena itu teknologi *Device To Device* (D2D) hadir sebagai solusi untuk mengatasi kepadatan lalu lintas jaringan di mana pengguna seluler dapat saling berkomunikasi tanpa melalui BS secara

langsung. Beberapa kelebihan menggunakan komunikasi D2D antara lain menghemat daya, mengurangi kepadatan lalu lintas jaringan, dan mengurangi beban kerja BS [2]. Komunikasi *device to device* menggunakan spektrum seluler yang dibagi menjadi dua yaitu *overlay* dan *underlay*. Pada *overlay* pengguna D2D akan menggunakan saluran yang telah dialokasikan khusus sedangkan pada *underlay* pengguna seluler akan menggunakan saluran yang sama dengan D2D [3].

Pada tugas akhir ini penulis mengalokasikan *resource* dengan menggunakan Algoritma *Greedy* yang akan dibandingkan dengan Algoritma 8 *Clustering*, dan Algoritma 4 *Clustering* pada sistem komunikasi jenis *downlink*. Algoritma *Clustering* digunakan untuk membagi *Cellular User* (CU) dan *Device To Device User* (DU) menjadi 8 dan 4 *cluster* berdasarkan jarak pengguna terhadap BS. Setelah proses *clustering* selesai kemudian akan dilakukan pendataan *cluster* untuk jumlah CU, D2D Tx, dan D2D Rx. Langkah berikutnya adalah memastikan CU dan D2D Rx berada pada *cluster* yang berbeda untuk mengurangi interferensi. Selanjutnya adalah mengalokasikan *resource* CU dan DU kemudian menghitung parameter kinerja yaitu: *sumrate*, efisiensi daya, efisiensi spektral, dan *fairness*. Algoritma *Greedy* digunakan untuk mengalokasikan *resource* berdasarkan nilai terbesar. Hasil akhir yang ingin dicapai adalah meminimalisasi interferensi, meningkatkan *sumrate*, efisiensi daya, efisiensi spektral, dan *fairness*.

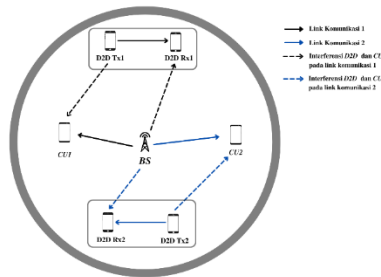
II. KAJIAN TEORI

Pada komunikasi *device to device underlay* terdapat permasalahan yang harus diselesaikan. Hal ini karena pengguna D2D dan pengguna seluler menggunakan *resource* yang sama sehingga menimbulkan interferensi antar pengguna. Pada penelitian [4] mengusulkan skema pembentukan *cluster* untuk meminimalisasi interferensi. Tujuannya untuk memaksimalkan nilai *throughput* dengan tetap memperhatikan kinerja pengguna seluler. Pada penelitian [5] mengusulkan integrasi komunikasi D2D pada jaringan seluler *mmWave underlaying MIMO-NOMA* untuk meningkatkan efisiensi spektral. Algoritma *Clustering* berdasarkan grafik interferensi berbasis *user clustering* dan untuk mengoptimalkan alokasi *resource* menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).

III. METODE

A. Model Sistem

Model sistem yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *single cell* dengan satu *Base Station* (BS) berada di tengah *cell*. Selain itu di dalam *cell* terdapat *Celuller User* (CU) dan *Device To Device User* (DU) yang tersebar secara acak dengan radius *cell* 1000 meter. CU dan DU diasumsikan dalam keadaan diam. Sistem yang digunakan adalah *downlink* dengan jarak maksimal antar pasangan D2D adalah 20 meter. *Bandwidth* RB yang digunakan sebesar 180 KHz, hasil dari perkalian antara 15 KHz dengan 12 *subcarriers*. Untuk jumlah RB adalah sebanyak 100 RB karena diasumsikan 1 CU menggunakan 1 RB. Simulasi terjadinya interferensi adalah pada saat D2D Tx1 mengirimkan sinyal ke D2D Rx1 dan pada saat bersamaan D2D Rx1 juga menerima sinyal dari BS. Interferensi kedua terjadi pada saat BS mengirimkan sinyal ke CU1 dan bersamaan dengan D2D Tx1 juga mengirimkan sinyal ke CU1. Selanjutnya interferensi ketiga terjadi saat D2D Tx2 mengirimkan sinyal ke D2D Rx2 dan saat bersamaan BS juga mengirimkan sinyal ke D2D Rx2. Interferensi keempat terjadi saat BS mengirimkan sinyal ke CU2 dan pada saat yang sama D2D Tx2 juga mengirimkan sinyal ke CU2.



GAMBAR 1. Model Sistem

B. Algoritma Greedy

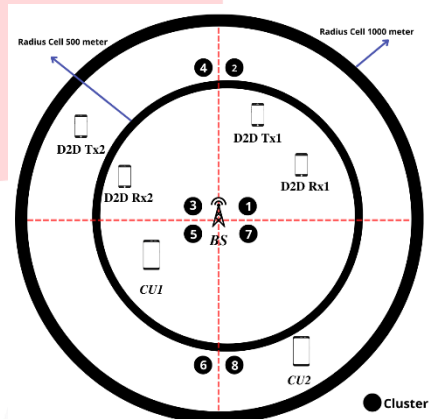
Algoritma *greedy* adalah algoritma yang cara kerjanya memilih nilai *sumrate* terbesar dari perangkat CU dan DU. Proses dari algoritma *greedy* diawali dengan perangkat pasangan pertama D2D memilih RB yang dimiliki oleh CU berdasarkan total *data rate* tertinggi pada *Resource Block* (RB). Kemudian pasangan D2D memilih salah satu CU dan pasangan D2D lainnya tidak dapat memilih CU yang sama. Proses ini dilakukan terus-menerus hingga semua perangkat pasangan D2D mendapatkan *resource* [6].



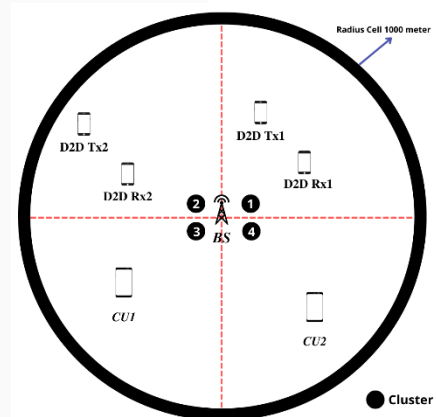
GAMBAR 2. Proses Algoritma Greedy

C. Algoritma Clustering

Algoritma *clustering* adalah sebuah algoritma yang cara kerjanya dengan membagi pengguna CU, D2D Tx, dan D2D Rx yang berada di satu *cell* menjadi 8 dan 4 *cluster* berdasarkan jarak pengguna terhadap BS. Setelah proses pembagian *cluster* selesai selanjutnya CU, D2D Tx dan D2D Rx akan didata berada pada *cluster* berapa saja. Kemudian dilakukan perbandingan CU dan D2D Rx agar berada pada *cluster* yang berbeda. Tujuan dari pembagian *cluster* ini agar CU dapat berkomunikasi dengan DU yang berada pada *cluster* yang berbeda agar meminimalisir interferensi antar pengguna. Proses *clustering* ini memiliki kelebihan seperti dapat memberikan informasi kepadatan pengguna, mengurangi konsumsi daya, dan memaksimalkan nilai *fairness*.



GAMBAR 3. Proses Algoritma 8 Clustering



GAMBAR 4. Proses Algoritma 4 Clustering

D. Perhitungan Pathloss, Gain, dan SINR

Pathloss adalah nilai yang menyatakan *loss* dari suatu sinyal yang dipancarkan dalam satuan *desibell* (dB). Mode saluran yang digunakan adalah *reyleigh fading* dengan *Urban Micro Cell* (UMi). Berikut ini adalah rumus untuk menghitung nilai *pathloss*:

$$PL_{c,d} = 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + 20.0 \log_{10}(fc) \quad (1)$$

$PL_{c,d}$ adalah nilai *pathloss* dalam satuan *desibell* (dB), d adalah jarak antara Tx dan Rx dalam meter, fc adalah nilai frekuensi *carrier* dalam (GHz). *Gain* kanal dimodelkan

menggunakan *rayleigh fading* dalam satuan *desibell* (dB). Berikut adalah rumus untuk mencari nilai *gain*:

$$G_{c,d} = PL_{c,d} - h_{c,d} \quad (2)$$

$G_{c,d}$ adalah nilai *gain* kanal, $PL_{c,d}$ adalah nilai *pathloss*, dan $h_{c,d}$ adalah variabel karakteristik *rayleigh fading*.

E. Signal to Interference Noise Ratio

SINR adalah perbandingan antara sinyal utama yang dikirimkan dengan sinyal interferensi yang ditambahkan *noise*. Nilai SINR digunakan untuk menentukan kualitas suatu sinyal yang diterima dalam satuan *desibell* (dB). Rumus SINR dapat dituliskan sebagai berikut:

$$SINR_{c,d} = \frac{S}{I+N} \quad (3)$$

$SINR_{c,d}$ adalah nilai SINR, S merupakan sinyal daya terima utama, hasil dari perkalian antara daya pancar dengan *gain*. I merupakan sinyal interferensi, hasil perkalian antara daya pancar sinyal pengganggu dengan *gain*. N merupakan sinyal *noise* yang ada pada jaringan komunikasi.

F. Data rate

Data rate adalah suatu nilai yang menyatakan banyaknya data yang dikirimkan dalam satu waktu dengan satuan *bit*. Semakin besar nilai *data rate* maka semakin banyak data yang dikirimkan. Rumus *data rate* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R_c = BW \cdot \log_2(1 + (SINR_c)) \quad (4)$$

$$R_d = BW \cdot \log_2(1 + (SINR_d)) \quad (5)$$

R_c merupakan *data rate* CU, R_d merupakan *data rate* DU, BW merupakan *bandwidth*, $SINR$ merupakan nilai SINR. Simbol $SINR_c$ adalah SINR untuk CU dan $SINR_d$ untuk SINR DU.

G. Sumrate

Sumrate adalah suatu nilai yang menyatakan banyaknya *bit* yang dikirimkan dalam satu detik dengan satuan bps. Nilai *sumrate* merupakan hasil penjumlahan dari nilai *data rate* CU dan *data rate* DU. Rumus *sumrate* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\mu_{c,d} = R_c + R_d \quad (6)$$

$$SR = \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D x_{c,d} \cdot \mu_{c,d} \quad (7)$$

SR adalah *sumrate*, C adalah jumlah CU, D adalah jumlah DU, $x_{c,d}$ adalah matriks jumlah CU dan DU, dan $\mu_{c,d}$ adalah penjumlahan *data rate* CU dan DU.

H. Efisiensi Spektral

Efisiensi spektral adalah salah satu parameter yang menyatakan banyaknya jumlah *bit* yang dikirimkan dalam satu waktu dengan satuan bps/Hz. Rumus efisiensi spektral dapat dituliskan sebagai berikut:

$$SE = \frac{SR}{RB \cdot BW} \quad (8)$$

SE adalah nilai efisiensi spektral, SR adalah nilai *sumrate*, RB adalah nilai *resource block*, dan BW adalah nilai *bandwidth*.

I. Efisiensi Daya

Nilai efisiensi daya merepresentasikan seberapa besar data yang dikirimkan dengan satuan bps/mWatt. Apabila jumlah pengguna semakin banyak maka nilai efisiensi akan semakin besar. Rumus efisiensi daya sebagai berikut:

$$PE = \frac{SR}{P_{c,C} + P_{d,D}} \quad (9)$$

J. Fairness

Nilai *fairness* adalah nilai yang menyatakan pemerataan dalam pengalokasian sumber daya antar pengguna. Semakin besar nilai *fairness* maka akan semakin baik pembagian sumber daya antar pengguna. Rumus *fairness* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = \frac{(\sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D ((R_c + R_d)^2))}{(C+D) \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D ((R_c + R_d)^2)} \quad (10)$$

F adalah nilai *fairness*, C adalah jumlah CU, D adalah jumlah DU, R_c adalah nilai *data rate* CU, R_d adalah nilai *data rate* DU.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

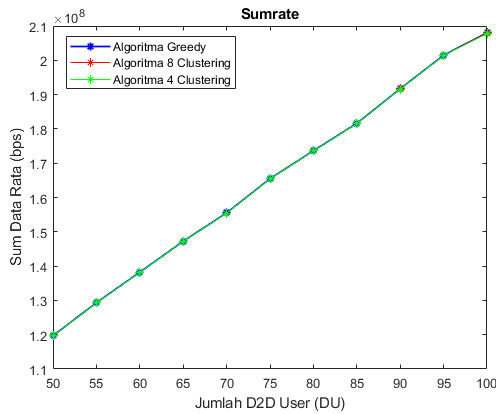
Pada penelitian ini melakukan alokasi *resource* dengan menggunakan algoritma *greedy*, algoritma 8 dan 4 *clustering*. Hasil algoritma akan dibandingkan untuk mengetahui parameter kinerja masing masing algoritma. Tabel 1 merupakan parameter simulasi yang digunakan.

TABEL 1. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Radius Base Station	1000 Meter
Frekuensi	2.3 GHz
Daya Pancar CU	26 dBm
Daya Pancar DU	21 dBm
Bandwith RB	180 KHz
Bandwith Sistem	20 MHz
Jumlah Resource Block	100
Pathloss	UMi
Fading	Rayleigh
Jarak Maksimal D2D	20 Meter
Jarak Minimal D2D	1 Meter
Jarak Minimal CU ke BS	10 Meter
Jarak Maksimal CU ke BS	1000 Meter

A. Sumrate

Sumrate adalah suatu nilai yang menyatakan banyaknya *bit* yang dikirimkan dalam satu detik dengan satuan bps. Nilai *sumrate* merupakan hasil penjumlahan dari nilai *data rate* CU dan *data rate* DU. Rumus untuk mencari nilai *sumrate* dapat menggunakan persamaan 7.



GAMBAR 5. Hasil Sumrate

TABEL 2. Perbandingan Hasil Sumrate

Jumlah DU	Algoritma Greedy	Algoritma 8 Clustering	Algoritma 4 Clustering
50	$1,19696 \times 10^8$	$1,19649 \times 10^8$	$1,19648 \times 10^8$
55	$1,29311 \times 10^8$	$1,29264 \times 10^8$	$1,29261 \times 10^8$
60	$1,38218 \times 10^8$	$1,38171 \times 10^8$	$1,38167 \times 10^8$
65	$1,47234 \times 10^8$	$1,47185 \times 10^8$	$1,47180 \times 10^8$
70	$1,55512 \times 10^8$	$1,55469 \times 10^8$	$1,55461 \times 10^8$
75	$1,65462 \times 10^8$	$1,65419 \times 10^8$	$1,65409 \times 10^8$
80	$1,73617 \times 10^8$	$1,73576 \times 10^8$	$1,73565 \times 10^8$
85	$1,81592 \times 10^8$	$1,81549 \times 10^8$	$1,81536 \times 10^8$
90	$1,91680 \times 10^8$	$1,91634 \times 10^8$	$1,91619 \times 10^8$
95	$2,01452 \times 10^8$	$2,01404 \times 10^8$	$2,01389 \times 10^8$
100	$2,08013 \times 10^8$	$2,07967 \times 10^8$	$2,07749 \times 10^8$
Rata-rata	$1,64708 \times 10^8$	$1,64662 \times 10^8$	$1,64635 \times 10^8$

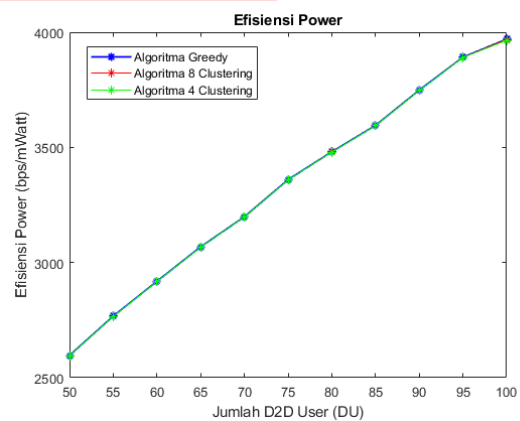
Berdasarkan gambar 5 dan tabel 2 menunjukkan bahwa algoritma *greedy* memiliki nilai rata-rata *sumrate* tertinggi yaitu $1,64708 \times 10^8$ bps jika dibandingkan algoritma 8 *clustering* dengan nilai $1,64662 \times 10^8$ bps dan algoritma 4 *clustering* yang memiliki nilai *sumrate* $1,64635 \times 10^8$ bps. Algoritma *greedy* dapat memiliki nilai *sumrate* yang lebih tinggi karena proses alokasi berdasarkan nilai *sumrate* terbesar sehingga hasilnya adalah nilai yang maksimal. Pada algoritma 8 dan 4 *clustering* proses alokasi juga berdasarkan nilai *sumrate* terbesar setelah dilakukan pembagian *cluster* dan perbandingan *cluster* agar CU dan D2D Rx tidak berada pada *cluster* yang sama. Oleh karena itu hasil ketiga algoritma mempunyai nilai yang mirip karena proses alokasi *resource* berdasarkan nilai *sumrate* terbesar.

B. Efisiensi Daya

Nilai efisiensi daya merepresentasikan seberapa besar data yang dikirimkan dalam satuan bps/mWatt. Apabila jumlah pengguna semakin banyak maka nilai efisiensi akan semakin besar. Rumus untuk mencari nilai efisiensi daya dapat menggunakan persamaan 9.

TABEL 3. Perbandingan Hasil Efisiensi Daya

Jumlah DU	Algoritma Greedy	Algoritma 8 Clustering	Algoritma 4 Clustering
50	2596,14	2595,12	2595,09
55	2766,90	2765,90	2765,84
60	2918,20	2917,19	2917,11
65	3067,77	3066,76	3066,65
70	3198,30	3197,42	3197,26
75	3359,45	3358,57	3358,38
80	3480,55	3479,72	3479,50
85	3595,05	3594,20	3593,94
90	3748,06	3747,17	3746,87
95	3891,24	3890,33	3890,03
100	3969,71	3968,83	3964,67
Rata-rata	3326,49	3325,57	3325,03



GAMBAR 6. Hasil Efisiensi Daya

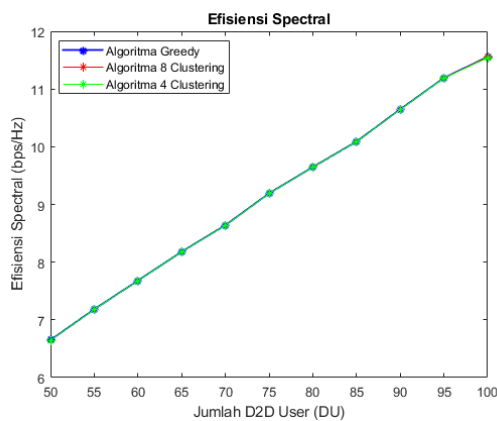
Berdasarkan gambar 6 dan tabel 3 menunjukkan bahwa algoritma *greedy* memiliki nilai rata-rata efisiensi daya tertinggi yaitu 3326,49 bps/mWatt jika dibandingkan algoritma 8 *clustering* dengan nilai 3325,57 bps/mWatt dan algoritma 4 *clustering* yang memiliki nilai efisiensi daya 3325,03 bps/mWatt. Algoritma *greedy* dapat memiliki nilai efisiensi daya yang lebih tinggi karena proses alokasi berdasarkan nilai *sumrate* terbesar sehingga hasilnya adalah nilai yang maksimal. Pada algoritma 8 dan 4 *clustering* proses alokasi juga berdasarkan nilai *sumrate* terbesar setelah dilakukan pembagian *cluster* dan perbandingan *cluster* agar CU dan D2D Rx tidak berada pada *cluster* yang sama. Oleh karena itu hasil ketiga algoritma mempunyai nilai yang mirip karena proses alokasi *resource* berdasarkan nilai *sumrate* terbesar. Nilai *sumrate* akan mempengaruhi nilai efisiensi daya, apabila nilai *sumrate* semakin besar maka nilai efisiensi daya juga akan semakin besar.

C. Efisiensi Spektral

Efisiensi spektral adalah salah satu parameter yang menyatakan banyaknya jumlah *bit* yang dikirimkan dalam satuan bps/Hz. Rumus untuk mencari nilai efisiensi spektral dapat menggunakan persamaan 8.

TABEL 4. Perbandingan Hasil Efisiensi Spektral

Jumlah DU	Algoritma Greedy	Algoritma 8 Clustering	Algoritma 4 Clustering
50	6,6498	6,6472	6,6471
55	7,1839	7,1813	7,1812
60	7,6788	7,6761	7,6759
65	8,1796	8,1770	8,1767
70	8,6395	8,6372	8,6367
75	9,1923	9,1899	9,1894
80	9,6454	9,6431	9,6425
85	10,0884	10,0860	10,0853
90	10,6489	10,6463	10,6455
95	11,1918	11,1891	11,1883
100	11,5563	11,5537	11,5416
Rata-rata	9,1504	9,1479	9,1464



GAMBAR 7. Hasil Efisiensi Spektral

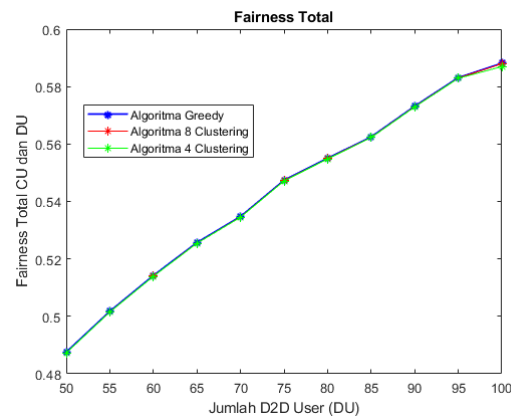
Berdasarkan gambar 7 dan tabel 4 menunjukkan bahwa algoritma *greedy* memiliki nilai rata-rata efisiensi spektral tertinggi yaitu 9,1504 bps/Hz jika dibandingkan algoritma 8 *clustering* dengan nilai 9,1479 bps/Hz dan algoritma 4 *clustering* yang memiliki nilai efisiensi spektral 9,1464 bps/Hz. Algoritma *greedy* dapat memiliki nilai efisiensi spektral yang lebih tinggi karena proses alokasi berdasarkan nilai *sumrate* terbesar sehingga hasilnya adalah nilai yang maksimal. Pada algoritma 8 dan 4 *clustering* proses alokasi juga berdasarkan nilai *sumrate* terbesar setelah dilakukan pembagian *cluster* dan perbandingan *cluster* agar CU dan D2D Rx tidak berada pada *cluster* yang sama. Oleh karena itu hasil ketiga algoritma mempunyai nilai yang mirip karena proses alokasi *resource* berdasarkan nilai *sumrate* terbesar. Nilai *sumrate* akan mempengaruhi nilai efisiensi spektral, apabila nilai *sumrate* semakin besar maka nilai efisiensi spektral juga akan semakin besar.

D. Fairness

Fairness adalah nilai yang menyatakan keadilan *resource* yang dipengaruhi oleh jumlah DU, jumlah CU dan nilai *sumrate*. Rumus untuk mencari nilai *fairness* menggunakan persamaan 10.

TABEL 5. Perbandingan Hasil Fairness

Jumlah DU	Algoritma Greedy	Algoritma 8 Clustering	Algoritma 4 Clustering
50	0,4875	0,4873	0,4873
55	0,5017	0,5015	0,5015
60	0,5142	0,5140	0,5139
65	0,5257	0,5255	0,5254
70	0,5347	0,5346	0,5345
75	0,5474	0,5472	0,5471
80	0,5550	0,5549	0,5548
85	0,5625	0,5623	0,5622
90	0,5732	0,5730	0,5729
95	0,5831	0,5830	0,5829
100	0,5881	0,5879	0,5869
Rata-rata	0,5430	0,5428	0,5427



GAMBAR 8. Hasil Fairness

Berdasarkan gambar 8 dan tabel 5 menunjukkan bahwa algoritma *greedy* memiliki nilai rata-rata *fairness* tertinggi yaitu 0,5430 jika dibandingkan algoritma 8 *clustering* dengan nilai 0,5428 dan algoritma 4 *clustering* yang memiliki nilai *fairness* 0,5427. Algoritma *greedy* dapat memiliki nilai *fairness* yang lebih tinggi karena proses alokasi berdasarkan nilai *sumrate* terbesar sehingga hasilnya adalah nilai yang maksimal. Pada algoritma 8 dan 4 *clustering* proses alokasi juga berdasarkan nilai *sumrate* terbesar setelah dilakukan pembagian *cluster* dan perbandingan *cluster* agar CU dan D2D Rx tidak berada pada *cluster* yang sama. Oleh karena itu hasil ketiga algoritma mempunyai nilai yang mirip karena proses alokasi *resource* berdasarkan nilai *sumrate* terbesar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa:

- Peningkatan jumlah DU yang disimulasikan pada dapat meningkatkan nilai *sumrate*, efisiensi daya, efisiensi spektral, dan *fairness*.
- Alokasi *resource* dengan menggunakan algoritma *greedy*, algoritma 8 *clustering*, dan algoritma 4 *clustering* mendapatkan hasil algoritma *greedy* memiliki nilai tertinggi untuk parameter *sumrate* dengan nilai $1,64708 \times 10^8$ bps, efisiensi daya dengan nilai 3326,49 bps/mWatt,

efisiensi spektral dengan nilai 9,1504 bps/Hz, dan *fairness* dengan nilai 0,5430.

- C. Pada simulasi yang dijalankan, algoritma *clustering* memiliki nilai penurunan kinerja terhadap algoritma *greedy* pada parameter *sumrate* sebesar 0,0361%, penurunan efisiensi daya sebesar 0,0357%, penurunan efisiensi spektral sebesar 0,0355%, penurunan *fairness* sebesar 0,0460%.
- D. Alokasi *resource* menggunakan algoritma *clustering* tidak memiliki pengaruh yang besar untuk mengalokasikan meningkatkan parameter kinerja. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan algoritma *clustering* mengalokasikan *resource* berdasarkan nilai *sumrate* terbesar setelah dilakukan pembagian *cluster* sehingga nilai yang didapatkan tidak berbeda jauh dengan algoritma *greedy*.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, *Statistik Telekomunikasi Indonesia 2020*. Badan Pusat Statistik, 2021.
- [2] R. M. Alsharfa, S. L. Mohammed, S. K. Gharghan, I. Khan, and B. J. Choi, "Cellular-D2D resource allocation algorithm based on user fairness," *Electron.*, vol. 9, no. 3, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/electronics9030386.
- [3] R. Zhang, Y. Li, C.-X. Wang, Y. Ruan, Y. Fu, and H. Zhang, "Energy-Spectral Efficiency Trade-Off in Underlying Mobile D2D Communications: An Economic Efficiency Perspective," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 17, no. 7, pp. 4288–4301, 2018, doi: 10.1109/TWC.2018.2822284.
- [4] R. Gour and A. Tyagi, "Cluster oriented resource allocation and power optimisation for D2D network in cellular communications," *IET Networks*, vol. 9, no. 4, pp. 170–179, 2020, doi: 10.1049/iet-net.2019.0091.
- [5] S. Solaiman, L. Nassef, and E. Fadel, "User Clustering and Optimized Power Allocation for D2D Communications at mmWave Underlying MIMO-NOMA Cellular Networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 57726–57742, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3071992.
- [6] S. Pratiwi, A. Fahmi, and V. S. Widhi Prabowo, "Performance Comparison of Genetic and Greedy Algorithms in Underlay Device-to-Device Communication," *Emit. Int. J. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 2, pp. 459–476, 2020, doi: 10.24003/emitter.v8i2.566.