

SIMULASI PENGALOKASIAN SUMBER DAYA PADA KOMUNIKASI MENGGUNAKAN ALGORITMA HEURISTIK PADA SKEMA UNDERLAY D2D COMMUNICATION

SIMULATION OF RESOURCE ALLOCATION ON DEVICE TO DEVICE COMMUNICATION USING HEURISTIC ALGORITHM IN D2D COMMUNICATION UNDERLAY SCHEME

Claudia Sofiana T¹, Dr.Arfianto Fahmi,S.T.,M.T.²,Vinsensius Sigit,S.T.,M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi,Fakultas Teknik Elektro,Universitas Telkom

¹claudiasofiana@student.telkomuniversity.ac.id,²arfiantof@telkomuniversity.ac.id,³vinsensigitwp@gmail.com

Abstrak

Peningkatan jumlah pengguna seluler secara signifikan menimbulkan peningkatan kepadatan trafik komunikasi dalam jaringan seluler, sehingga diperlukan adanya penambahan kapasitas jaringan. Komunikasi D2D merupakan fitur yang mampu melayani komunikasi *peer to peer* sehingga pasangan D2D dapat berkomunikasi secara langsung tanpa harus melewati *Base Transceiver Station (BTS)* dengan cara menggunakan kembali sumber daya dari *cellular user*. Komunikasi D2D menyebabkan interferensi penerapan komunikasi D2D dapat menimbulkan interferensi terhadap komunikasi telepon seluler konvensional. Sehingga untuk mengurangi interferensi yang terjadi saat pengalokasian sumber daya diperlukan *resource allocation* secara tepat. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan simulasi alokasi sumber daya menggunakan algoritma *heuristic* dan algoritma *greedy*, algoritma *minimum interference* dengan algoritma *random allocation* sebagai pembandingnya. Algoritma diujikan pada dua skenario yaitu variasi jumlah pasangan D2D dan variasi jarak radius sel. Kemudian nilai *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi energi dan *fairness* yang didapat dari hasil simulasi dibandingkan untuk menentukan algoritma yang paling optimal. Algoritma *greedy* memiliki nilai *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi energi yang lebih unggul dan performansi algoritma *heuristic* tidak jauh berbeda dengan algoritma *greedy* Sementara Algoritma *heuristic* memberikan solusi untuk membagi *resource* secara adil kepada pasangan D2D dibuktikan dengan nilai *fairness* yang lebih baik daripada algoritma yang lainnya dan lebih cocok digunakan ketika terjadi tingkat *complexity* tinggi.

Kata Kunci : *resource allocation, device to device, heuristic, greedy, minimum interference, random allocation.*

Abstract

The increasing number of cellular users significantly give an impact to the increasing number of communication density traffic in cellular network, thus the addition of network capacity is necessary. D2D communication is a feature that is able to serve peer to peer communication so that D2D partners can communicate directly without having to pass through the Base Transceiver Station (BTS) by reusing resources from the cellular user. D2D communication causes interference with the implementation of D2D communication can cause interference to conventional cell phone communications. So as to reduce the interference that occurs when allocating resource allocation resource is required appropriately. On this final task will be done simulation of resource allocation using heuristic algorithms and greedy algorithm, minimum interference algorithm with random allocation algorithm as the comparison. The algorithm is tested on two scenarios, which are variations in the number of D2D pairs and the range of cell radius distances. Then the value of sumrate, spectral efficiency, energy efficiency and fairness gained from the simulated results compared to determining the most optimal algorithm. The greedy algorithm has a sumrate value, spectral efficiency, energy efficiency and a heuristic performance algorithm is not much different from the greedy algorithm while the heuristic algorithm provides a solution to fairly divide the resource into D2D pairs with a *fairness* value better than other algorithms and is more suited to use when high complexity levels.

Keywords: *resource allocation, device to device, heuristic, greedy, minimum interference, random allocation.*

1. Pendahuluan

Teknologi komunikasi seluler sudah mencapai Generasi ke -4 (4G) atau sering disebut dengan LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*). Kemajuan teknologi telekomunikasi seluler berdampak pada bertambahnya jumlah pengguna telepon seluler. Berdasarkan pada hasil survei yang dilakukan oleh worldatlas, Indonesia merupakan negara terbesar ke-6 dalam hal pengguna telepon seluler terbanyak di dunia [1]. Saat ini teknologi komunikasi seluler berkembang menuju Generasi ke -5 (5G) dimana pada teknologi 5G akan direkomendasikan beberapa fitur, salah satunya adalah teknologi komunikasi D2D. Sebagai teknologi komunikasi terbaru, teknologi komunikasi D2D memungkinkan komunikasi langsung antar perangkat tanpa memerlukan *base station* untuk pengiriman data. Komunikasi D2D tidak memerlukan *base station* untuk transfer data, hal itu tidak hanya menghemat *resource*, tetapi juga mengurangi beban pemancar pada *base station*. Pada saat yang bersamaan, komunikasi D2D dapat lebih meningkatkan tingkat pemanfaatan *resource spectrum* jaringan selular [2]. Namun, untuk memungkinkan komunikasi D2D di jaringan seluler terdapat tantangan utama yaitu ketika jumlah pasangan D2D melebihi *cellular user* sehingga terdapat beberapa pasangan D2D yang tidak mendapatkan *resource block* untuk membuat jalur *uplink* ke BTS. Selain itu interferensi yang disebabkan oleh *cellular user* dapat mempengaruhi kinerja pasangan D2D secara signifikan. Sehingga dibutuhkan algoritma khusus untuk melakukan skema alokasi *resource block* dengan memperhatikan nilai interferensi untuk memaksimalkan pemanfaatan spektrum dalam menyikapi masalah tersebut.

Pada Tugas Akhir ini, algoritma yang digunakan untuk alokasi *resource block* yaitu dengan menggunakan algoritma *heuristic* menggunakan skema komunikasi *underlay* D2D, dimana pengguna seluler dan D2D berbagi sumber daya radio yang sama.[3]. Untuk menentukan hasil yang lebih optimal, algoritma *heuristic* akan dibandingkan dengan algoritma *greedy*, algoritma *minimum interference* dan algoritma *random allocation*. Parameter performansi *output* yang akan diujikan pada Tugas Akhir adalah nilai *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi energi dan *fairness*. Kemudian hasil performansi dari masing-masing algoritma diujikan pada 2 skenario pengujian, yaitu variasi jumlah pasangan D2D dan variasi jarak radius sel. Lalu berdasarkan nilai parameter performansinya dapat menarik kesimpulan mengenai algoritma yang memiliki nilai yang optimal.

2. Dasar Teori

2.1 Device to device

D2D merupakan teknologi baru berupa fitur tambahan pada telepon seluler generasi mendatang. Teknologi D2D ini semula diciptakan dengan tujuan memanfaatkan telepon seluler yang telah dilengkapi fitur D2D sebagai *relay* untuk menjangkau perangkat pengguna telepon seluler konvensional yang berada di luar jangkauan suatu jaringan seluler. Seiring dengan perkembangannya, teknologi ini diciptakan untuk meringankan kinerja eNB. Teknologi D2D memungkinkan dua buah telepon seluler atau lebih untuk dapat melakukan komunikasi secara langsung tanpa melalui eNB[6].

2.2 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)

Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) adalah jumlah yang digunakan untuk memberikan batas atas teoritis pada kapasitas saluran/tingkat transfer informasi dalam sistem komunikasi nirkabel seperti jaringan. SINR didefinisikan sebagai kekuatan sinyal tertentu yang dibagi dengan jumlah kekuatan interferensi (dari semua sinyal terima lainnya) dan kekuatan beberapa kebisingan (*noise*) [8].

$$SINR = \frac{P}{I+No} \quad (2.1)$$

$$No = k * T * BW \text{ per subcarrier} \quad (2.2)$$

Dengan P adalah daya *transmitter*, I adalah daya penginterferensi yang diterima dan No adalah *noise* termal dengan k adalah konstanta boltzmann dan T adalah suhu.

2.3 Interferensi

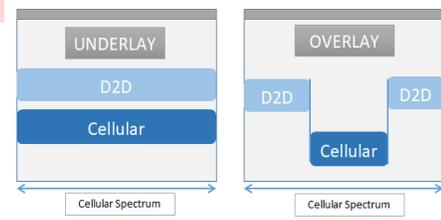
Definisi umum dari interferensi yaitu suatu sinyal pengganggu yang tidak diinginkan. Penyebab terjadinya interferensi yaitu dikarenakan frekuensi yang digunakan sama atau frekuensi yang berdekatan (*adjacent channel*) dan juga disebabkan oleh besarnya daya pancar yang digunakan untuk transmisi sinyal. Interferensi dapat

menurunkan kinerja pengirim (*transmitter*) dalam memancarkan sinyal informasi dan mengganggu kinerja penerima (*receiver*) dalam menerima sinyal informasi yang dikirimkan oleh *transmitter*.

2.4 Device to Device Underlay

Device to Device Underlay dalam jaringan selular mengusulkan untuk menggunakan kembali spektrum seluler untuk komunikasi D2D. Dengan menggunakan *underlying* D2D untuk meningkatkan kinerja jaringan seluler, dalam hal efisiensi spektrum, efisiensi energi, jangkauan seluler, dan target kinerja lainnya sedangkan *Device to Device Overlay* mengalokasikan sumber daya seluler khusus untuk D2D pengguna yang mengakomodasi hubungan langsung antara pemancar dan penerima [3].

Berikut gambar representasi *underlay* dan *overlay* pada komunikasi D2D :



Gambar 2. 1 Representasi *underlay* dan *overlay* pada D2D [3].

2.5 Parameter Performansi

Sistem setelah simulasi dilakukan dengan mengacu dari parameter yang ditentukan. Nilai performansi pada sistem di evaluasi untuk dijadikan analisis. Parameter performansi yang di evaluasi adalah *sumrate* sistem, efisiensi spektral, efisiensi energi.

2.5.1 Sumrate Sistem

Data rate pada sistem menjadi salah satu titik fokus keberhasilan suatu algoritma, semakin tinggi *data rate* pada sistem semakin optimal algoritma yang digunakan dalam proses alokasi[10].

$$R_s = BRB \log_2 \left(1 + \frac{P_{CU} \cdot G^{CU,eNB}}{I + N_o} \right) \tag{2.3}$$

$$I = P_d \cdot G^{d,eNB} \tag{2.4}$$

Dengan R_s adalah *data rate* pada eNB, P_{CU} adalah daya *cellular user*, dan G^{CU} adalah *gain* saluran antara *cellular user* dan eNB, sementara I merupakan daya penginterferensi, dengan P_d adalah daya pada pasangan D2D dan G^d adalah *gain* saluran antara *cellular user* dan eNB. Dengan cara yang sama, *data rate* pasangan D2D yang sama dengan *data rate* eNB dirumuskan oleh [10].

$$R_d = B_{RB} \log_2 \left(1 + \frac{P_d \cdot G^{dt,dr}}{I + N_o} \right) \tag{2.5}$$

$$I = P_{CU} \cdot G^{CU,dr} \tag{2.6}$$

Dengan R_d adalah *data rate* untuk pasangan D2D, $G^{dt,dr}$ adalah *gain* saluran antara *D2D transmitter* dan *D2D receiver*, sementara I merupakan daya penginterferensi yang berisikan $G^{CU,dr}$ adalah *gain* saluran antara *cellular user* dan *D2D receiver*.

$$R_{tot} = R_s + R_d \tag{2.7}$$

Untuk itu R_{tot} merupakan *data rate* total pada sistem *uplink* yang merupakan penjumlahan dari *data rate* pada eNB dan *data rate* pada pasangan D2D yang disebut *sumrate* sistem.

2.5.2 Efisiensi Spektral

Efisiensi spektral ialah parameter performansi yang menunjukkan jumlah bit yang ditransmisikan untuk setiap 1 Hz. Nilai tersebut bergantung pada nilai SINR setiap pengguna seluler dan nilai efisiensi spektral dapat diformulasikan pada persamaan (2.17). Dengan B_{Sys} adalah *bandwidth* sistem. Sistem dikatakan efisien jika memiliki nilai efisiensi spektral yang tinggi [10].

$$ES_{sys} = \frac{R_l}{B_{sys}} \tag{2.8}$$

2.5.3 Efisiensi Energi

Nilai efisiensi energi digunakan untuk mengetahui seberapa besar data yang ditransmisikan dalam 1 watt. Semakin besar nilai efisiensi energi dari suatu sistem maka semakin efektif daya yang digunakan pada sistem tersebut. Nilai efisiensi energi pada penelitian ini didapat berdasarkan rumus berikut [11].

$$EE = \frac{R_{tot}}{((P_{eNB})+(P_{CU} \times \text{jumlah } CU)+(P_d \times \text{jumlah } D2D))} \tag{2.10}$$

EE merupakan nilai efisiensi energi dengan satuan b/s/Watt, R_{tot} merupakan nilai *data rate* total, dan P_{eNB} , P_{CU} , dan P_d secara berturut-turut merupakan nilai daya pancar eNB, *cellular user* dan pasangan D2D [11].

2.5.4 Fairness Sistem

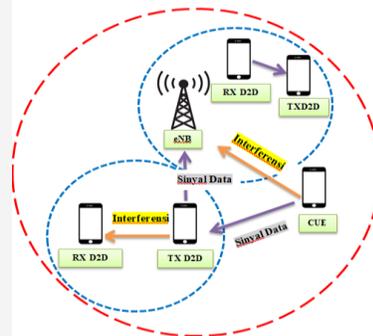
Fairness adalah keadilan untuk mendapatkan *radio resource* untuk semua *user*. Nilai *fairness* diformulasikan sebagai berikut [10]:

$$F = \frac{(R_{tot})^2}{N(R_s2+(R_d2)} \tag{2.9}$$

dengan F adalah *fairness*, R_{tot} adalah *data rate* total dan N adalah jumlah *user* dalam sistem. Semakin besar nilai *fairness* maka semakin adil pembagian *resource* antar *user* dengan nilai maksimum 1 yang berarti semua *user* mendapatkan *data rate* yang sama [10].

3. Model Sistem

3.1 Desain Sistem



Gambar 3. 1 Model Sistem [3].

Pada model sistem diatas merupakan skenario transmisi *uplink*, dimana pada model sistem ini digunakan D2D *pair* yang berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver* yang bekerja menggunakan skema D2D *underlay* dimana pengguna seluler dan D2D berbagi sumber daya radio yang sama dengan menggunakan kembali spektrum seluler untuk komunikasi D2D. Kelemahan utama dari komunikasi *underlay* D2D adalah gangguan yang disebabkan oleh pengguna D2D untuk komunikasi seluler dan sebaliknya. Seperti pada model sistem berikut ini, perangkat CUE melakukan transmisi *uplink* ke eNB, dimana proses tersebut akan terganggu oleh daya pancar D2D dan sebaliknya ketika D2D mengirim data ke eNB akan terganggu oleh daya pancar dari CUE. Dari kasus tersebut akan dipelajari mengenai nilai SINR pada eNB untuk melihat apakah nilai SINR tersebut sesuai dengan nilai SINR target pada rata-rata. Selain itu, pada skenario ini perangkat CUE yang melakukan transmisi *uplink* akan menimbulkan interferensi terhadap perangkat D2D *pair* pada daerah cakupan eNB, oleh karenanya akan dilakukan perhitungan nilai SINR selain itu agar bisa berkomunikasi tanpa melalui eNB dibutuhkan alokasi *resource block* agar pasangan D2D dapat berkomunikasi. Diasumsikan radius sel pada penelitian ini memiliki jari-jari radius sebesar 500 meter, yang ditunjukkan dengan garis merah putus-putus sedangkan jarak maksimal antar pasangan D2D sebesar 35 m yang ditunjukkan dengan garis biru putus-putus. *Bandwith* kanal atau *resource block* adalah 180 KHz, jumlah *cellular user* sebanyak 50 dimana SNR pada *cellular user* sebesar 10 dB. Berikut merupakan parameter karakteristik pada model sistem dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut [3].

Tabel 3. 1 Parameter Sistem

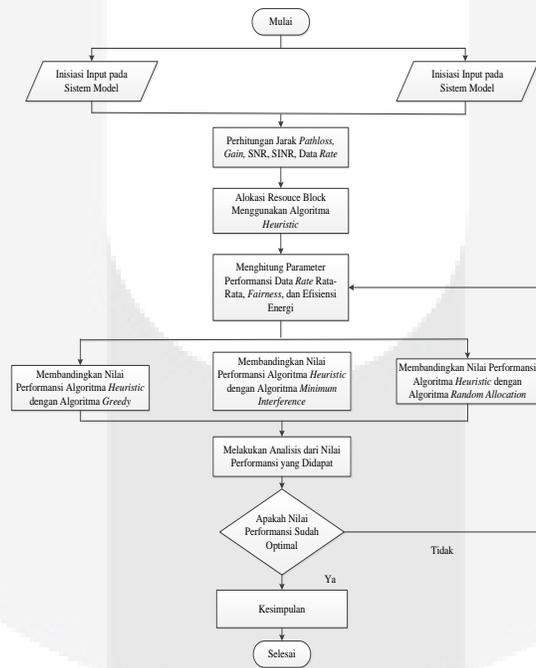
Parameter Simulasi	Nilai
Jumlah <i>celluler user</i>	50
Jarak maksimal antar D2D <i>pair</i>	35 m
<i>Bandwith</i> RB	180 KHz
Radius sel	500 m
<i>Noise Power</i>	-174 dBm/Hz
Frekuensi <i>Carrier</i>	2 Ghz
<i>Bandwith</i> sistem	10 Hz

3.2 Skenario Simulasi

Pada bab ini dilakukan simulasi dan analisis mengenai proses pengalokasian *resource block* kepada pasangan D2D. Algoritma yang diujikan pada penelitian ini yaitu algoritma *heuristic*, algoritma *greedy*, algoritma *minimum interference*, algoritma *random allocation* dan parameter performansi yang dianalisis yaitu *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi energi dan *fairness*.

1. Skenario pertama adalah saat jumlah pasangan D2D divariasikan dari 25-50 perangkat pasangan dengan kenaikan 5 sehingga jumlahnya sama dengan jumlah *celluler user* yaitu 50 perangkat. Sementara jarak radius sel sebesar 500 m dan jarak maksimal antarpasangan D2D sebesar 35 m.
2. Skenario kedua adalah saat jarak radius sel divariasikan dari 500-1000 m dengan kenaikan 100. Nilai jarak maksimal antarpasangan D2D sebesar 35 m, jumlah *celluler user* sebanyak 50, dan jumlah pasangan D2D adalah 25.

Hasil skenario yang telah diuji digunakan untuk melihat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing algoritma. Skenario yang diujikan pada simulasi penelitian ini seperti pada Gambar 3.2 berikut.



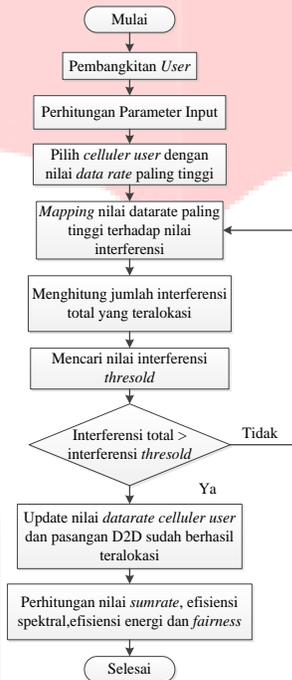
Gambar 3. 2 Skenario simulasi

3.3 Algoritma Heuristic

Setelah menghitung nilai SINR yaitu proses menjalan algoritma *Heuristic*. Proses alokasi menggunakan algoritma *heuristic* diawali dengan mencari nilai *data rate* terbesar dari masing-masing *celluler user*. Setelah itu,

celluler user yang terpilih dilihat nilai interferensinya. Kemudian mencari nilai interferensi *threshold*. Pasangan D2D akan dialokasikan sampai jumlah interferensi tidak melewati batas interferensi *threshold*.

Proses tersebut memungkinkan terus diulang hingga semua pasangan D2D mendapatkan *resource block* yang diperlukan [4]. Berikut merupakan diagram alur untuk algoritma *heuristic*. Jika semua pasangan D2D sudah mendapatkan RB maka dihitung nilai *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi energi dan *fairness* pada tiap pasangan D2D. Proses Algoritma *heuristic* dijelaskan dalam Gambar 3.5 berikut.

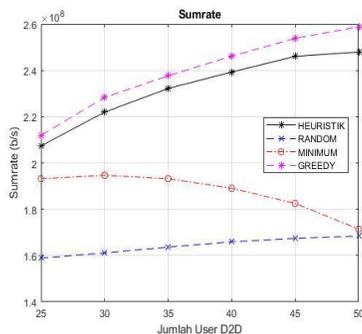


Gambar 3.3 Flowchart menjalankan Algoritma *Heuristic* [4]

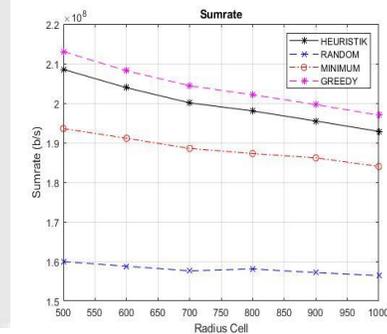
4. Pembahasan

4.1 Sumrate

Sumrate total adalah penjumlahan semua *data rate* yang terdapat pada sistem. *Sumrate* total didapatkan dari penjumlahan *data rate* pengguna D2D yang sudah teralokasi dan *data rate* pengguna seluler (*resource block*). Berikut merupakan hasil *sumrate* yang didapatkan pada masing-masing algoritma.



Gambar 4. 1 *Sumrate* total pada skenario pertama.



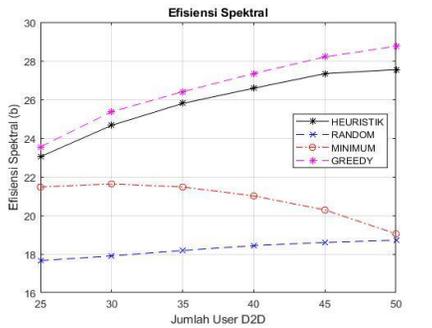
Gambar 4. 2 *Sumrate* total pada skenario kedua.

Dapat disimpulkan bahwa pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 merupakan sisi performansi *sumrate* yang diuji dengan 2 skenario. Dari kedua skenario tersebut, sisi performansi *sumrate* dimenangkan oleh algoritma greedy, kedua terbaik adalah heuristic, kemudian minimum interference dan yang terakhir adalah algoritma random allocation.

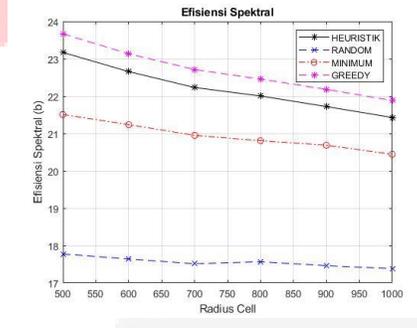
Berdasarkan Gambar grafik 4.1 skenario pertama yang dilakukan yaitu dengan kenaikan jumlah D2D, nilai *sumrate* total cenderung lebih meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyak jumlah pasangan D2D maka data yang ditransmisikan juga semakin banyak sehingga nilai *sumrate* total juga semakin besar sedangkan Pada skenario kedua saat kenaikan jarak radius sel *data rate* total pada sistem ini cenderung turun dapat dilihat pada Gambar 4.2 hal itu dikarenakan semakin luas radius sel maka *gain* pada setiap pengguna seluler dan pasangan D2D akan semakin kecil.

4.2 Efisiensi Spektral

Efisiensi spektral adalah jumlah bit yang ditransmisikan untuk setiap 1 Hz. Nilai tersebut bergantung pada nilai SINR setiap pengguna dan dapat dihitung dengan menggunakan masukan nilai *sumrate* sistem dibagi dengan nilai *bandwidth resource block*. Berikut merupakan gambar grafik perbandingan efisiensi spektral setiap algoritma pada skenario pertama dan skenario kedua.



Gambar 4.3 Efisiensi Spektral pada skenario pertama.

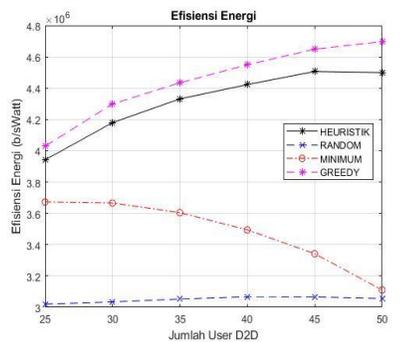


Gambar 4.4 Efisiensi Spektral pada skenario kedua.

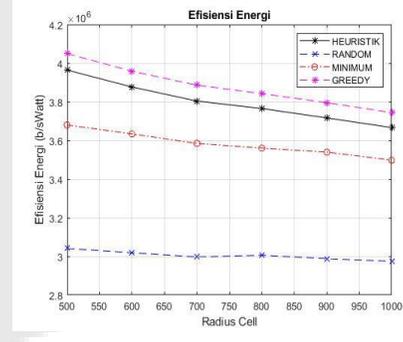
Dapat disimpulkan bahwa pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan sisi performansi efisiensi spektral yang diuji dengan 2 skenario. Dari kedua skenario tersebut, sisi performansi efisiensi spektral dimenangkan oleh algoritma greedy, kedua terbaik adalah heuristic, kemudian *minimum interference* dan yang terakhir adalah algoritma *random allocation*. Berdasarkan Gambar grafik 4.3 skenario pertama setiap penambahan pengguna D2D dalam sebuah sel akan menaikkan nilai efisiensi spektral. Hal ini disebabkan karena *sumrate* sistem berbanding lurus dengan efisiensi spektral sedangkan nilai efisiensi spektral cenderung menurun pada Gambar 4.4 dikarenakan semakin luas radius sel maka *gain* pada setiap pengguna seluler dan pasangan D2D akan semakin kecil. Jika *gain* semakin kecil, maka efisiensi spektral sistem akan semakin kecil juga.

4.3 Efisiensi Energi

Efisiensi energi adalah berapa banyak data yang ditransmisikan dalam setiap 1 Watt. Jika semakin banyak jumlah pasangan D2D maka semakin banyak data yang dikirim setiap watt. Berikut merupakan gambar grafik perbandingan efisiensi energi setiap algoritma pada skenario pertama dan skenario kedua.



Gambar 4.5 Efisiensi Energi pada skenario pertama.



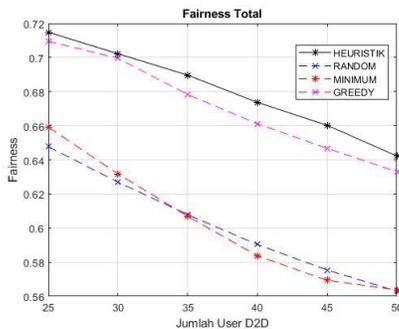
Gambar 4.6 Efisiensi Energi pada skenario kedua.

Dapat disimpulkan bahwa pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan sisi performansi efisiensi spektral yang diuji dengan 2 skenario. Dari kedua skenario tersebut, sisi performansi efisiensi spektral dimenangkan oleh algoritma greedy, kedua terbaik adalah heuristic, kemudian *minimum interference* dan yang terakhir adalah algoritma *random*

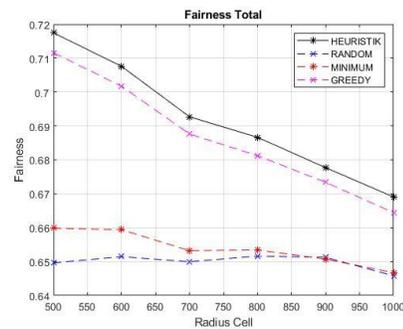
allocation. Nilai efisiensi energi Gambar 4.5 sistem saat menggunakan algoritma *greedy* dan algoritma heuristik memiliki nilai yang jauh lebih baik dibandingkan dengan algoritma *minimum interference* atau algoritma *random allocation* dikarenakan nilai *data rate* yang ditransmisikan saat menggunakan algoritma *greedy* dan *heuristic* memiliki nilai yang cenderung lebih besar dibandingkan algoritma lain karena semakin banyak *data rate* yang ditransmisikan maka semakin besar nilai efisiensi energi sistem tersebut. Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai dengan variasi jari-jari radius sel, nilai efisiensi energi cenderung menurun dikarenakan semakin jauh jarak radius sel maka *gain* pada setiap pengguna seluler dan pasangan D2D akan semakin kecil. Jika *gain* semakin kecil, maka efisiensi energi sistem akan semakin kecil juga.

4.4 Fairness sistem

Fairness adalah kesamaan perlakuan untuk mendapatkan sumber daya radio untuk semua *user* pada sistem.



Gambar 4.7 Fairness pada skenario pertama.



Gambar 4.8 Fairness pada skenario kedua.

Gambar 4.7 Pada parameter performansi *fairness* terlihat setiap penambahan jumlah pengguna D2D maka akan menurunkan nilai *fairness*. Hal ini disebabkan karena pada saat kondisi jumlah pasangan D2D lebih atau kurang dari *resource block*, maka menyebabkan nilai *fairness* tidak optimum karena *resource block* tidak teralokasi secara merata kepada pasangan D2D. Nilai *fairness* didefinisikan dari 0 sampai 1 dengan asumsi nilai *fairness* = 1 ketika semua pasangan D2D memiliki nilai sumber daya yang sama rata. Pada parameter performansi Gambar 4.7 *fairness* terlihat setiap penambahan jumlah pengguna D2D maka akan menurunkan nilai *fairness*. Hal ini disebabkan karena pada saat kondisi jumlah pasangan D2D lebih atau kurang dari *resource block*, maka menyebabkan nilai *fairness* tidak optimum karena *resource block* tidak teralokasi secara merata kepada pasangan D2D. Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa nilai *fairness* pada skenario ini juga cenderung turun, hal ini membuktikan bahwa semakin jauh jarak radius sel suatu sistem maka nilai *fairness* pada sistem tersebut semakin kecil. Dan parameter ini dimenangkan oleh algoritma heuristic daripada algoritma pembandingan lainnya.

5. Kesimpulan

- a. Pada skenario pertama yaitu variasi jumlah D2D semakin banyak pasangan D2D di suatu sistem membuat nilai *fairness* pada sistem tersebut semakin kecil dikarenakan interferensi yang terjadi juga semakin besar. Sementara nilai *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi energi akan menjadi lebih besar dikarenakan semakin banyak data yang ditransmisikan. Nilai rata-rata *sumrate* untuk setiap algoritma adalah $2,39445 \times 10^8$ b/s untuk algoritma *greedy*, $2,324533 \times 10^8$ b/s untuk algoritma heuristic, $1,87345 \times 10^8$ b/s untuk algoritma *minimum interference* dan $1,64235 \times 10^8$ b/s untuk algoritma *random allocation*. Nilai rata-rata efisiensi spektral untuk setiap algoritma adalah 26,60508 b untuk algoritma *greedy*, 25,82813 b untuk algoritma heuristic, 20,81597 b untuk algoritma *minimum interference*, 18,24832 b untuk algoritma *random allocation*. Nilai rata-rata efisiensi energi untuk setiap algoritma adalah $4,443067 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma *greedy*, $4,313683 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma heuristic, $3,482017 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma *minimum interference* dan $3,049617 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma *random allocation*. Sementara untuk nilai rata-rata *fairness* untuk setiap algoritma adalah 0,67135 untuk algoritma *greedy*, 0,68045 untuk algoritma heuristic, 0,602417 untuk algoritma *minimum interference*, 0,60185 untuk algoritma *random allocation*.
- b. Pada skenario kedua yaitu variasi jarak radius sel semakin besar nilai jarak radius sel disuatu sistem membuat nilai *sumrate*, efisiensi spektral, efisiensi energi dan *fairness* pada sistem tersebut semakin kecil dikarenakan gain pada device di sistem tersebut juga semakin kecil. Nilai rata-rata *sumrate* untuk setiap

algoritma adalah $2,041167 \times 10^8$ b/s untuk algoritma *greedy*, $1,99855 \times 10^8$ b/s untuk algoritma heuristik, $1,88457 \times 10^8$ b/s untuk algoritma *minimum interference* dan $1,58182 \times 10^8$ b/s untuk algoritma *random allocation*. Nilai rata-rata efisiensi spektral untuk setiap algoritma adalah 22,6798167 b untuk algoritma *greedy*, 22,20628 b untuk algoritma heuristik, 20,93965 b untuk algoritma *minimum interference*, 17,57587 b untuk algoritma *random allocation*. Nilai rata-rata efisiensi energi untuk setiap algoritma adalah $3,880567 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma *greedy*, $3,799567 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma heuristik, $3,482017 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma *minimum interference* dan $3,007267 \times 10^6$ b/sWatt untuk algoritma *random allocation*. Sementara untuk nilai rata-rata *fairness* untuk setiap algoritma adalah 0,686383 untuk algoritma *greedy*, 0,691667 untuk algoritma heuristik, 0,653767 untuk algoritma *minimum interference*, 0,650467 untuk algoritma *random allocation*.

- c. Pada skenario pertama nilai *sumrate* total cenderung naik dan berbanding lurus dengan nilai efisiensi spektral, efisiensi energi sistem namun berbanding terbalik dengan nilai *fairness* sistem. Sementara pada skenario kedua nilai *sumrate* total cenderung turun serta berbanding lurus dengan nilai efisiensi spektral sistem, efisiensi energi sistem dan *fairness* sistem.
- d. Berdasarkan hasil simulasi algoritma *greedy* bekerja optimal ketika kondisi sistem memiliki nilai yang lebih unggul di bandingkan algoritma pembandingan. Sementara algoritma *heuristic* bekerja optimal pada sisi *fairness* ketika suatu sistem memiliki jumlah D2D yang bertambah dan jarak radius sel yang sangat besar menunjukkan algoritma *heuristic* konsisten lebih unggul karena alokasi heuristik melakukan proses alokasi selain memilih *datarate* terbesar tiap kanal *celluler user* lalu mempertimbangkan kembali terhadap nilai interferensi total yang telah dialokasi. Semakin banyak penawaran maka pembagian *resource* untuk pasangan D2D akan semakin adil dan merata dengan algoritma *heuristic*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Worldwide Internet and Mobile Users: Wordatlas's Updated Estimates For 2019. <https://www.worldatlas.com/articles/10-countries-with-the-highest-rates-of-cell-phone-subscriptions>. (diakses pada tanggal 16 September 2019)
- [2] Worldwide Weifeng Lu, Weijun Lin dan Lijun Yang, "A Heuristic D2D Communication Mode Selection Algorithm," IEEE, 2017.
- [3] Arash Asadi, Qing Wang, Vincenzo Mancuso, "A Survey on Device to Device Communication Cellular Networks," IEEE, 2014.
- [4] Zyren, J. 2007. Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer. White Paper. Freescale Semiconductor, Inc. 3GPPEVOLUTIONWP Rev 0
- [6] Rasheed Abdurrahman Mulyadi dan Uke Kurniawan Usman "Komunikasi Device to Device Pada Jaringan Seluler menggunakan mmWave" AVITEC 2020.
- [7] Y. Zhang, E. Pan, L. Song, W. Saad, Z. Dawy dan Z. Han, "Social Network Aware Device-to-Device Communication in Wireless Networks," IEEE, 2015.
- [8] Monowar Hasan and Ekram Hossain, "Distributed Resource Allocation in 5G Cellular Networks," Book Chapter in Towards 5G: Applications, Requirements and Candidate Technologies, Wiley, 2015.
- [9] Esobinenwu C.B.O.H Akinwale, "Adjustment of Cost 231 Hatta Path Model For Celluler Transmission in Rivers State," IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), vol 6, no.5, pp 16-23, Juli Agustus 2013.
- [10] Mohammad Tauhidul Islam, Abd-Elhamid, Selim Aki, Salimur Choudhury, "Two-phase auction-based fair and interference allocation for underlying d2d Communication", IEEE International Conference of Communication (ICC) 2016. doi : 10.1109/ICC.2016.7511460.
- [11] Prabowo, V. S., Fahmi, A., Adriansyah, N. M., & Andini, N. (2019). Energy efficient resources allocations for wireless communication systems. TELKOMNIKA, Vol.17, 1624-1635.