

Analisis Penggunaan Skema Adaptif Power Control Sebagai Mitigasi Interferensi Pada Alokasi Sumber Daya Radio Device to Device Berbasis Greedy

1st Akbar Rozak
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
akbarrozak@student.telkomuniversity.a
c.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— Peningkatan jumlah pengguna seluler di seluruh dunia menimbulkan kepadatan trafik komunikasi seluler pada Base Station (BS). Komunikasi Device to Device (D2D) menjadi paradigma baru untuk memecahkan masalah tersebut. D2D adalah fitur dalam jaringan 5G yang memungkinkan perangkat berkomunikasi langsung satu sama lain tanpa melalui BS. Dalam Recommendation ITU-R M.2083 memberikan panduan khusus untuk implementasi D2D dalam jaringan 5G. Akan tetapi, penerapan komunikasi D2D dapat menimbulkan interferensi terhadap Cellular User Equipment (CUE) yang berada didekatnya. Interferensi dapat terjadi karena D2D menggunakan resource yang sama dengan CUE. Penelitian ini, menganalisis interferensi yang terjadi dengan melakukan proses manajemen interferensi pada skema downlink dengan menggunakan algoritma greedy sebagai resource alokasi lalu dilanjutkan dengan mengalokasikan daya dengan algoritma adaptif power control. Parameter pembandingnya pada simulasi ini yaitu nilai sumrate, power efficiency, spectral efficiency dan fairness. Hasil simulasi pada penelitian tugas akhir ini menunjukkan bahwa penggunaan algoritma adaptif power control pada komunikasi D2D dapat mengurangi pengaruh interferensi yang terjadi pada komunikasi seluler. Algoritma adaptif power control menghasilkan peningkatan nilai kinerja pada sumrate 49,91%, power efficiency 182,03%, spectral efficiency 43,73%, fairness CUE 66,11%. Namun, pada fairness D2D dan fairness total memiliki nilai yang kurang baik dengan penurunan kinerja fairness D2D 13,52%, dan fairness total 4,36%.

Kata kunci — Device to Device (D2D), Adaptif Power Control, Underlaying.

I. PENDAHULUAN

Terbatasnya bandwidth jaringan serta meningkatnya jumlah pengguna mendesak munculnya teknologi baru untuk meningkatkan kecepatan data dan mengurangi latensi. Komunikasi Device to Device (D2D) menjadi paradigma baru untuk memecahkan masalah tersebut. D2D adalah fitur dalam jaringan 5G yang memungkinkan perangkat berkomunikasi langsung satu sama lain tanpa melalui stasiun basis (base station). Salah satu manfaat utamanya adalah latensi yang sangat rendah dalam komunikasi karena jalur lintas sinyal yang lebih pendek [1]. International

Telecommunication Union Radiocommunication sector (ITU-R) telah menetapkan beberapa standar terkait Device-to-Device (D2D) communication dalam jaringan seluler generasi ke-5 (5G) salah satunya dalam Recommendation ITU-R M.2083. Standar ini memberikan panduan umum untuk teknologi komunikasi seluler generasi ke-5 (5G) dan memberikan panduan khusus untuk implementasi D2D communication dalam jaringan 5G [2].

Namun, komunikasi D2D memiliki kekurangan yaitu ketika dua user equipments (UE) saling berkomunikasi dan terdapat UE yang lain maka akan timbul interferensi yang akan melemahkan kinerja dari sistem itu sendiri. Oleh karena itu, manajemen interferensi daya diperlukan agar terciptanya sistem yang efisien[3]. Salah satu teknik yang diterapkan untuk mengatur interferensi adalah menggunakan metode power control [4]. Metode power control merupakan teknik yang dapat diterapkan untuk mengatur interferensi. Tidak hanya dapat mengurangi interferensi, metode power control juga dapat meningkatkan kapasitas sistem dan kualitas komunikasi sehingga dapat menjadi teknik manajemen interferensi pada komunikasi wireless. Tujuan utama teknik ini yaitu memastikan daya pancar dari pemancar dapat diterima dengan baik oleh penerimanya dengan tingkat yang cukup tinggi untuk dideteksi, tetapi juga dapat menghindari interferensi yang terjadi [5].

Penelitian [6] mengusulkan skema untuk meningkatkan efisiensi spektral dalam jaringan seluler 5G, melalui manajemen interferensi dan sumber daya kontrol daya algoritma alokasi, memanfaatkan dari penggunaan kembali frekuensi dan pemodelan game theory. Pasangan D2D bisa menggunakan RB selular yang sama, tapi tidak membatasi jumlah mereka, itu akan diatur secara dinamis sesuai dengan kapasitasnya dan persyaratan DUE. Penelitian [7] menggunakan komunikasi D2D kooperatif di uplink dengan pembagian waktu dan daya. Dalam model ini, pemancar D2D mentransmisikan datanya sendiri bersama dengan data CUE yang disampaikan. Hasil mengungkapkan bahwa sistem memiliki peningkatan kinerja karena pembagian waktu dan sumber daya yang optimal. Penelitian [8] menggunakan algoritma joint greedy yang dibandingkan dengan algoritma

greedy dan mean greedy. Pada penelitian algoritma joint greedy mampu menghasilkan data rate, efisiensi energi, efisiensi spektral dan fairness yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma lainnya.

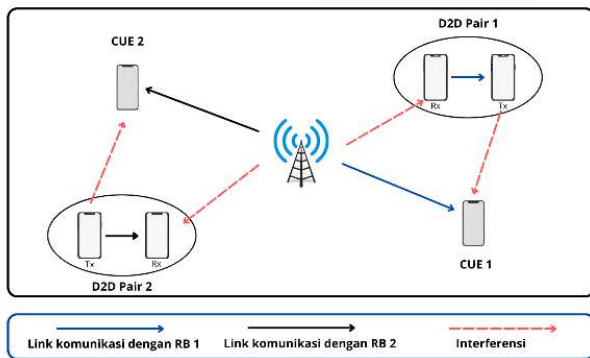
Penelitian ini, menganalisis interferensi yang terjadi dengan melakukan proses manajemen interferensi saat komunikasi sedang berlangsung pada frekuensi yang sama. Simulasi difokuskan pada pengalokasian daya, proses diawali dengan menggunakan algoritma greedy sebagai pengalokasian resource block lalu dilanjutkan dengan proses alokasi daya menggunakan algoritma adaptif power control. Hasil dari pengalokasian sumber daya kemudian ditinjau menggunakan empat parameter kinerja seperti sumrate, spectral efficiency, power efficiency, dan fairness.

II. METODE PENELITIAN

A. Model Sistem

Dalam simulasi menggunakan satu sel tunggal (single macrocell) dengan sebuah eNodeB, perangkat Cellular User Equipment (CUE), perangkat pemancar D2D (D2D Tx). Setiap user tersebar secara acak dan sebuah eNB berada pada pusat cell.

komunikasi D2D menggunakan mode underlay dimana pasangan DUE akan menggunakan resource yang sama dengan CUE yang telah diberikan oleh BS. Resource pada CUE hanya dapat digunakan kembali oleh satu pasang DUE, dan sebaliknya. Pada gambar 1 menunjukkan sistem bekerja pada mode *downlink*.

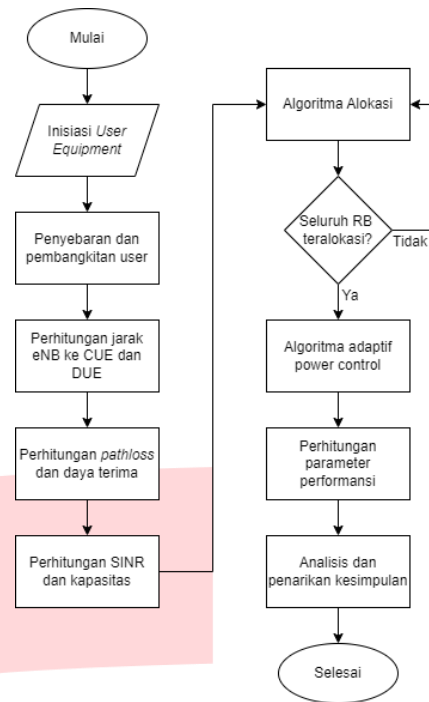


GAMBAR 1. Model system

Garis hitam merupakan link komunikasi dengan resource block 1 yang dimiliki CUE 1, garis biru merupakan link komunikasi dengan resource block 2 yang dimiliki CUE 2, garis oranye merupakan interferensi yang terjadi yang disebabkan oleh penggunaan *resource* yang sama D2D dengan CUE.

B. Skema Simulasi

Skema simulasi dilakukan setelah melakukan perancangan sistem telah sesuai dengan kriteria maupun batasan masalah yang telah dijelaskan. Dalam skema ini dijelaskan proses simulasi yang terstruktur untuk mempermudah saat penelitian. Berikut skema simulasi yang akan dilakukan pada penelitian ini.



GAMBAR 2. Skema Simulasi

C. Perhitungan Pathloss, SINR, dan Data Rate

1. Pathloss

Pathloss adalah sebuah besarnya pelemahan kekuatan daya sinyal informasi pada suatu transmisi sinyal yang disebabkan oleh beberapa hal seperti cuaca, temperatur udara, geografis dan lainnya. Dengan adanya perhitungan *pathloss* maka akan diketahui pelemahan yang terjadi pada suatu sinyal. Dalam menghitung *pathloss* yang terjadi pada seluler link (jalur antara UE dengan eNB) digunakan persamaan sebagai berikut [9]:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10 n \log_{10} \frac{d}{d_0} + X \quad (1)$$

$PL(d)$ adalah Pathloss Seluler link dalam dB, $PL(d_0)$ adalah Pathloss dengan menggunakan referensi jarak d dekat, d_0 adalah jarak antara dua perangkat yang dilakukan perhitungan pathloss, n adalah *pathloss* eksponen, dan X adalah *zero-mean Gaussian distributed random variable* dengan standar deviasi dengan satuan dB.

2. Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

SINR merupakan nilai dari perbandingan antara daya sinyal yang diterima pengguna / sinyal informasi dengan sinyal interferensi dan noise yang ada. Besarnya nilai dari daya interferensi dan noise akan menyebabkan SINR pada sistem komunikasi menjadi tidak memenuhi standar QoS. Nilai SINR dipengaruhi oleh nilai daya yang diterima oleh pengguna, semakin besar nilai daya yang diterima maka nilai SINR akan semakin membaik, SINR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [9]:

$$SINR = \frac{P_{Tx} \cdot G_{Tx}}{N + P_{int} \cdot G_{int}} \quad (2)$$

P_{Tx} merupakan daya pancar transmitter, P_{int} merupakan daya interferensi diterima, G_{Tx} merupakan Gain transmitter, G_{int} merupakan gain penginterferensi, dan N merupakan noise.

3. Data Rate

Kecepatan data (Data rate) adalah jumlah bit yang dapat dikirim per detik. Nilai *bandwidth* memiliki efek yang kuat pada *bit rate* yang ditransmisikan. Oleh Kecepatan data dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[6] :

$$R_{i,j}^c = B \cdot \log_2 (1 + SC_{i,j}) \quad (3)$$

$$R_{i,j}^d = B \cdot \log_2 (1 + SD_{i,j}) \quad (4)$$

$R_{i,j}^c$ adalah data rate CUE, $R_{i,j}^d$ adalah data rate D2D, B adalah bandwidth dalam hertz, $SC_{i,j}$ adalah SINR pada sisi CUE, dan $SD_{i,j}$ adalah SINR pada sisi D2D.

D. Parameter Simulasi

Tabel 1 menunjukkan parameter yang sudah ditetapkan untuk digunakan dalam pelaksanaan simulasi.

TABEL 1.
Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Radius sel	1.000m
Radius D2D	20-100m
Jumlah D2D	5,10,...,50
Jumlah CUE	50
Daya transmisi eNB	45 dBm
Daya transmisi CUE	27 dBm
Daya transmisi D2D	25 dBm
Frekuensi Carrier	1.800 MHz
Bandwidth	180 KHz
Noise thermal	-144 dBm/Hz
Model pathloss exponent	Pathloss exponent
Pathloss exponent value	3

E. Parameter Kinerja

1. Sumrate

Sumrate merupakan total data rate yang diperoleh dengan cara menjumlahkan data rate dari sisi CUE dan sisi D2D. *Sumrate* memiliki pengaruh besar terhadap parameter kinerja lainnya, sehingga *sumrate* yang dihasilkan harus optimal. Dalam menghitung *Sumrate* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut[10]:

$$SR = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{i,j} \cdot R_i^c) + (x_{i,j} \cdot R_j^d) \quad (5)$$

$x_{i,j}$ merupakan matriks alokasi CUE ke- i yang menggunakan resource block yang sama dengan D2D ke- j , R_i^c merupakan data rate CUE, R_j^d merupakan data rate D2D, serta N merupakan jumlah CUE dan M merupakan jumlah D2D.

2. Spectral Efficiency

Spectral efficiency merupakan sebuah parameter yang digunakan untuk mengetahui alokasi *resource block* yang

digunakan. *Spectral efficiency* merupakan kecepatan data yang dikirimkan dalam setiap hertz. Nilai *Spectral efficiency* dapat dihitung menggunakan rumus[11]:

$$SE = \frac{SR}{rb \cdot B} \quad (6)$$

SR adalah nilai *sumrate* dan RB adalah jumlah blok sumber daya yang digunakan, B adalah *bandwidth*. Semakin tinggi nilai efisiensi spektral, maka semakin cepat data ditransmisikan sehingga latensi yang terjadi lebih rendah.

3. Power Efficiency

Power Efficiency atau efisiensi daya adalah parameter yang digunakan untuk menentukan konsumsi daya saat mentransmisikan jumlah bit per 1 watt. *Power efficiency* dapat dihitung dengan persamaan[12]:

$$PE = \frac{SR}{i \cdot P_c + j \cdot P_d} \quad (7)$$

SR merupakan *sumrate*, P_c merupakan daya pancar CUE, dan P_d adalah daya pancar D2D, i adalah jumlah CUE dan j adalah jumlah D2D.

4. Fairness

Fairness merupakan ukuran seberapa adil distribusi daya yang diterima pengguna. Perhitungan *fairness* pada penelitian ini menggunakan *Jains Fairness Index* (JFI)[13].

$$F = \frac{(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{i,j} \cdot R_{i,j})^2}{N \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x_{i,j} \cdot R_{i,j})^2} \quad (8)$$

$R_{i,j}$ merupakan data rate yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3 dan N adalah jumlah user. *Fairness* memiliki nilai maksimum yaitu 1. Ketika nilai *fairness* mendekati 1 maka akan semakin baik.

F. Algoritma yang diajukan

1. Algoritma Greedy

Dalam komunikasi D2D, algoritma *greedy* digunakan untuk penjadwalan. Urutan proses penjadwalan dengan mengalokasikan RB dengan cara memilih kondisi kanal dengan kapasitas terbesar. Untuk user selanjutnya tidak dapat menggunakan *resource block* yang telah digunakan oleh *user* sebelumnya. Proses akan terus berlangsung hingga semua pasangan D2D mendapatkan *resource* dari CUE[8].

2. Algoritma Adaptif Power Control

Kontrol daya adaptif adalah teknik yang digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel untuk menyesuaikan daya transmisi suatu perangkat secara *real-time* berdasarkan perubahan kondisi lingkungan komunikasi. Tujuan dari kontrol daya adaptif adalah untuk mempertahankan tautan komunikasi yang stabil sambil menggunakan jumlah daya minimum yang diperlukan untuk meminimalkan interferensi dan menghemat energi. Dalam komunikasi D2D karena sering terjadi di jaringan padat di mana banyak perangkat berkomunikasi satu sama lain dalam jarak dekat. Dengan menggunakan kontrol daya adaptif, komunikasi D2D dapat mengelola spektrum radio secara efektif dan menghindari interferensi [14].

```

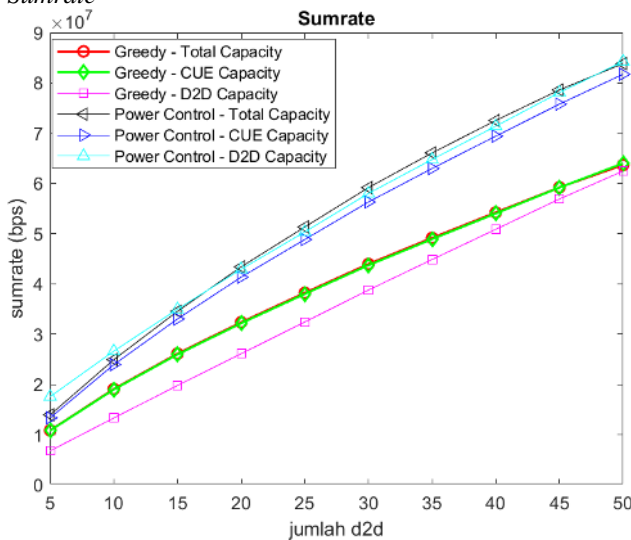
Algorithm 2 Adaptive Power Control algorithm for D2D
D ← distance
N ← numberofuser
P ← Power
i ← 0;
while I ≤ N do
  if D = near then
    | P ← P(scaledown)
  end
end
    
```

Pada pseudocode diatas D adalah jarak, N adalah jumlah user, P adalah daya yang digunakan. Ketika jarak D2D dengan penginterferensi dekat maka daya yang digunakan diperkecil. Jarak yang dimaksud yaitu sesuai yang telah ditetapkan terlebih dahulu pada algoritma.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan simulasi, diperoleh hasil dari parameter kinerja yang dijumlahkan seperti *sumrate*, *spectral efficiency*, *power efficiency*, dan *fairness*.

A. Sumrate



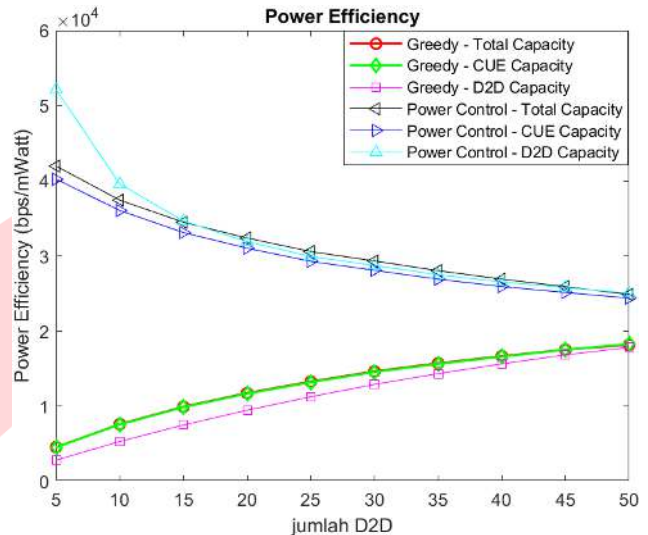
GAMBAR 3. Perbandingan sumrate terhadap jumlah pasangan D2D

Gambar 3 menunjukkan perbandingan nilai *sumrate* dari setiap algoritma yang yang digunakan terhadap variasi jumlah pasangan D2D. Hasil yang diperoleh memiliki enam input variasi, tiga menggunakan algoritma *adaptif power control*, dan tiga menggunakan algoritma *non adaptif power control*. Hasil menunjukkan dengan adanya penambahan jumlah D2D akan memberikan peningkatan *sumrate*, karena semakin jumlah UE bertambah, maka akan mempengaruhi jumlah nilai SINR.

Algoritma *adaptif power control* memiliki rata-rata hasil pada total $5,283 \times 10^7$ bps, D2D *capacity* $5,066 \times 10^7$ bps, CUE *capacity* $5,066 \times 10^7$ bps, sedangkan dengan *non adaptif power control* memiliki *capacity* hasil pada total *capacity* $3,9768 \times 10^7$ bps, D2D *capacity* $3,523 \times 10^7$ bps, $3,957 \times 10^7$ CUE *capacity* . Dari hasil tersebut terbukti bahwa algoritma *adaptif power control* memiliki persentase

tertinggi yaitu 49,91% lebih efektif dibandingkan sebelum memakai *power control*. Hal tersebut dapat terjadi karena pada algoritma *power control* mengatur daya pada penginterferensi berdasarkan kondisi jarak. Sementara, sebelum menggunakan algoritma *adaptif power control* daya pada penginterferensi tidak diatur dan akan menggunakan daya maksimal.

B. Power Efficiency



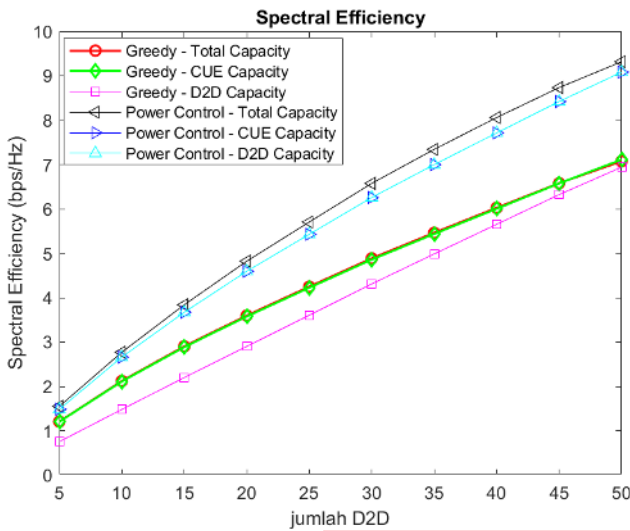
GAMBAR 4. Perbandingan power efficiency terhadap jumlah pasangan D2D

Gambar 4 menunjukkan perbandingan *power efficiency* dari setiap algoritma yang yang digunakan terhadap variasi jumlah pasangan D2D. Dapat dilihat pada grafik menunjukkan hasil *power efficiency* pada algoritma yang tidak memakai *power control*, memiliki kecenderungan grafik hasil *power efficiency* yang meningkat di setiap penambahan D2D, sedangkan pada penggunaan algoritma *adaptif power control* memiliki grafik hasil *power efficiency* yang cenderung menurun akibat penambahan jumlah pasangan D2D.

Berdasarkan hasil diatas ketika menggunakan algoritma *adaptif power control* memiliki rata-rata $3,119 \times 10^4$ bps/mWatt pada *total capacity* sedangkan ketika menggunakan *non adaptif power control* menghasilkan rata-rata $1,300 \times 10^4$ bps/mWatt pada *total capacity*. Simulasi menggunakan algoritma *adaptif power control* dapat meningkatkan hasil *power efficiency* tertinggi yaitu 182,03% lebih baik dibandingkan dengan *non adaptif power control*.

C. Spectral Efficiency

Gambar 5 menunjukkan perbandingan nilai *sumrate* dari setiap algoritma yang yang digunakan terhadap variasi jumlah pasangan D2D. Dapat dilihat pada gambar bahwa grafik pada tiga garis yang menggunakan *adaptif power control* dan juga pada tiga garis yang menggunakan *non adaptif power control* memiliki kecenderungan grafik yang saling berhimpit yang berarti nilai *spectral efficiency* tidak berbeda jauh. Penambahan jumlah pasangan D2D berdasarkan simulasi menyebabkan *spectral efficiency* semakin meningkat.

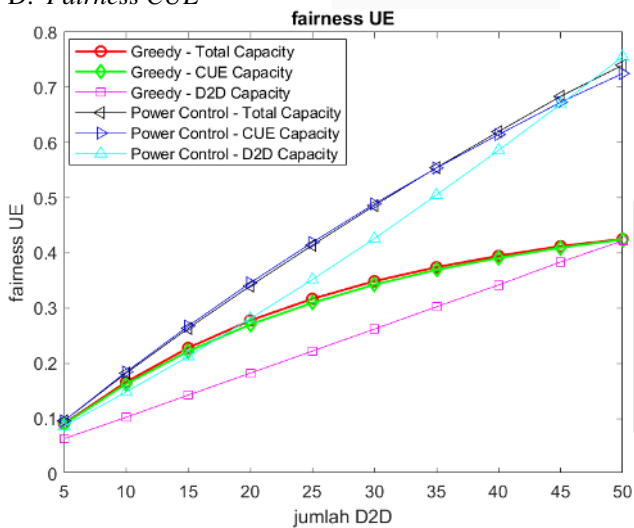


GAMBAR 5. Perbandingan spectral efficiency terhadap jumlah pasangan D2D

Hal tersebut disebabkan oleh peningkatan jumlah pasangan D2D yang mempengaruhi nilai *sumrate* juga ikut meningkat, dimana peningkatan pasangan D2D berbanding lurus dengan jumlah *sumrate*.

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan oleh gambar 5 didapatkan nilai *spectral efficiency* ketika menggunakan algoritma alokasi adaptif *power control* dapat meningkatkan nilai *spectral efficiency*. Algoritma adaptif *power control* mendapatkan rata-rata nilai *spectral efficiency* 5,870 bps/Hz pada total *capacity*, D2D *capacity* 5,629 bps/Hz, CUE *capacity* 5,629 bps/Hz, sedangkan ketika tidak menggunakan adaptif *power control* mendapatkan rata-rata nilai 4,409 bps/Hz pada total *capacity*.

D. Fairness CUE

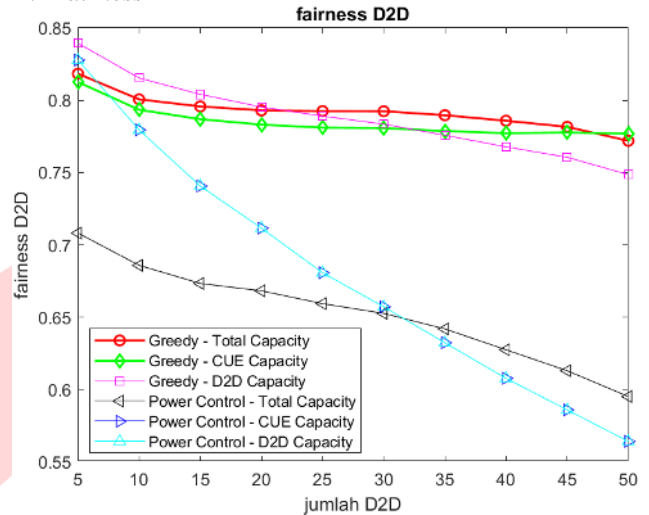


GAMBAR 6. Perbandingan fairness CUE terhadap jumlah pasangan D2D

Gambar 6 menunjukkan perbandingan nilai fairness antara algoritma adaptif *power control* dengan yang tidak menggunakan *power control*. Terlihat pada semua algoritma yang disimulasikan nilai *fairness* pada sisi D2D terjadi peningkatan. Pada kedua algoritma dengan adanya penambahan jumlah D2D menyebabkan kenaikan nilai *fairness* yang didapatkan.

Berdasarkan hasil simulasi, fairness pada sisi CUE tertinggi terjadi pada algoritma adaptif *power control*, yaitu pada Total *capacity* sebesar 0,438, disusul dengan CUE *capacity* 0,436, dan D2D *capacity* 0,402. *fairness* CUE pada algoritma adaptif *power control* 66,11% lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan non *power control*.

E. Fairness D2D

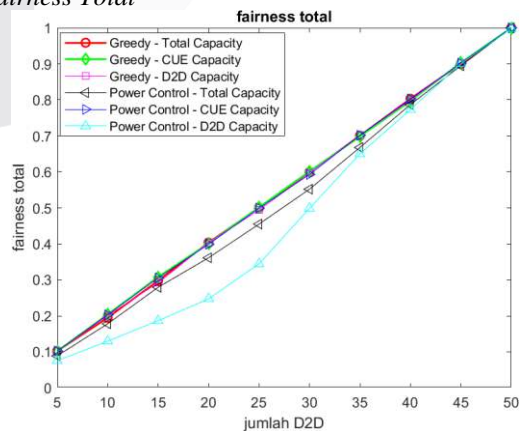


GAMBAR 7. Perbandingan fairness D2D terhadap jumlah pasangan D2D

Gambar 7 menunjukkan perbandingan nilai *fairness* antara algoritma adaptif *power control* dengan yang tidak menggunakan *power control*. Terlihat pada *capacity* total, *capacity* CUE, dan *capacity* D2D algoritma adaptif *power control* memiliki grafik *fairness* pada sisi D2D yang menurun. Pada algoritma non adaptif *power control* pada *capacity* total, *capacity* CUE dan *capacity* D2D memiliki *fairness* yang lebih stabil. Penambahan jumlah pasangan D2D menyebabkan penurunan nilai *fairness* yang didapatkan pada kedua algoritma.

Berdasarkan gambar 7 dengan menggunakan total *capacity* algoritma adaptif *power control* nilai keadilan yang dirasakan setiap user yaitu 0,652, lebih kecil dibandingkan dengan tiga algoritma yang menggunakan non adaptif *power control*.

F. Fairness Total



GAMBAR 7. Perbandingan fairness total terhadap jumlah pasangan D2D

Gambar 8 menunjukkan perbandingan nilai *fairness* antara algoritma adaptif *power control* dengan yang tidak menggunakan *power control*. Penambahan D2D user menyebabkan *fairness* yang didapatkan menjadi lebih besar. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah D2D maka keadilan yang dirasakan CUE semakin besar.

Nilai *fairness* pada algoritma adaptif *power control* 0,526 pada total *capacity*, 0,480 pada D2D *capacity*, dan 0,550 pada CUE *capacity*. Dari hasil tersebut mengalami penurunan sebesar -4,36% pada total *capacity*, -12,56% pada D2D *capacity*, 0,18% pada CUE *capacity*. Hal ini berarti algoritma adaptif *power control* memiliki keadilan pada tiap user yang kurang baik.

IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi dengan menggunakan algoritma adaptif *power control* menghasilkan parameter kinerja yang lebih baik. Hal tersebut dikarenakan pada algoritma adaptif *power control* daya diatur berdasarkan jarak dari penginterferensi sehingga interferensi dapat diminimalisasi dan mendapatkan sumrate yang lebih baik. Variasi penambahan jumlah pasangan D2D pada skenario memiliki pengaruh besar terhadap *sumrate* yang dihasilkan. Sehingga seluruh parameter kinerja terpengaruh dan juga mengalami kenaikan pada *spectral efficiency* dan *power efficiency*. Simulasi yang menggunakan algoritma adaptif *power control* menghasilkan nilai performa terbaik pada *sumrate* 5,283x10⁷ bps, *power efficiency* 3,218x10⁴ bps/mWatt, *spectral efficiency* 5,326 bps/Hz, *fairness* CUE 0,438, *fairness* D2D 0,678, dan *fairness* total 0,550.

REFERENSI

- [1] U. N. Kar and D. K. Sanyal, "An overview of device-to-device communication in cellular networks," pp. 203–208, 12 2018.
- [2] W. K. Lai, Y. C. Wang, H. C. Lin, and J. W. Li, "Efficient resource allocation and power control for lte-a d2d communication with pure d2d model," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, pp. 3202–3216, 3 2020.
- [3] A. F. Isnawati, S. Larasati, and I. D. Mabar, "Metode power control sebagai manajemen interferensi pada komunikasi device to device," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 10, no. 4, pp. 369–374, 2021.
- [4] I. A. Lestari, A. Nurdin, and A. Asriyadi, "Analisis manajemen interferensi jaringan uplink 4g-lte dengan metode innerloop power control di pt telkomsel," *Prosiding SNATIF*, pp. 383–388, 2017.
- [5] Z. Li, Z. Jiang, Y. Wang, and D. Yang, "A modified power control scheme in ofdma uplink," in 2008 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. IEEE, 2008, pp. 1–5.
- [6] S. Selmi and R. Bouallegue, "Interference and power management algorithm for d2d communications underlay 5g cellular network," in 2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). IEEE, 2019, pp. 1–8.
- [7] D. Kiwan, A. El Sherif, and T. ElBatt, "Cooperative d2d communications in the uplink of cellular networks with time and power division," in 2018 Wireless Days (WD). IEEE, 2018, pp. 80–85.
- [8] B. S. K. Sakti, A. Fahmi, and V. S. W. Prabowo, "Analisis performansi alokasi sumber daya radio berbasis algoritma greedy pada sistem komunikasi d2d underlying," in *Prosiding-Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2020, pp. 260–268.
- [9] X. Song, X. Han, Y. Ni, L. Dong, and L. Qin, "Joint uplink and downlink resource allocation for d2d communications system," *Future Internet*, vol. 11, no. 1, p. 12, 2019.
- [10] I. G. Fraimis and S. A. Kotsopoulos, "Qos-based proportional fair allocation algorithm for ofdma wireless cellular systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 15, no. 10, pp. 1091–1093, 2011.
- [11] J. Iqbal, M. A. Iqbal, A. Ahmad, M. Khan, A. Qamar, and K. Han, "Comparison of spectral efficiency techniques in device-to-device communication for 5g," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 57 440–57 449, 2019.
- [12] D.-T. Huynh, X. Wang, T. Q. Duong, N.-S. Vo, and M. Chen, "Social-aware energy efficiency optimization for device-to-device communications in 5g networks," *Computer Communications*, vol. 120, pp. 102–111, 2018.
- [13] M. Y. Ramadhan, V. Sigit, and A. Fahmi, "Radio resource allocation for device to device network using auction algorithm," *Jurnal Tiarsie*, vol. 16, no. 2, pp. 53–58, 2019.
- [14] S. A. R. Naqvi, S. A. Hassan, H. Pervaiz, Q. Ni, and L. Musavian, "Self adaptive power control mechanism in d2d enabled hybrid cellular network with mmwave small cells: An optimization approach," in 2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). IEEE, 2016, pp. 1–6.