

MANAJEMEN INTERFERENSI PADA KOMUNIKASI DEVICE-TO-DEVICE MENGUNAKAN ALGORITMA TWO-PHASE AUCTION-BASED FAIR AND INTERFERENCE ALLOCATION

INTERFERENCE MANAGEMENT ON DEVICE-TO-DEVICE COMMUNICATION USING TWO-PHASE AUCTION-BASED FAIR AND INTERFERENCE ALLOCATION ALGORITHM

I Gede Aditya Pratama, 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

¹ pratamagedeaditya@yahoo.com, ² arfiantof@telkomuniversity.ac.id, ³ vinsensigitwp@gmail.com

Abstrak

Komunikasi Device-to-Device (D2D) telah diusulkan di Long Term Evolution (LTE) sebagai solusi penting untuk meningkatkan throughput jaringan dan mengurangi beban lalu lintas di core network. Namun, transmisi sinyal pengguna seluler dapat menyebabkan interferensi pada komunikasi D2D ketika komunikasi D2D menggunakan resource yang sama dengan pengguna seluler. Tugas Akhir ini melakukan manajemen interferensi dengan cara meminimalkan interferensi yang disebabkan oleh sinyal seluler kepada D2D receiver menggunakan algoritma Two-Phase Auction-based Fair and Interference Resource Allocation (TAFIRA). Algoritma TAFIRA digunakan untuk meminimalkan interferensi, baik pada evolved Node B (eNB) dan pada penerima pasangan komunikasi D2D sambil tetap mempertahankan target sistem sum rate dan memastikan alokasi sumber daya yang adil di antara pasangan komunikasi D2D. Penggunaan teknologi manajemen interferensi saat ini menggunakan parameter yang berbeda, sehingga tidak diketahui teknologi apa yang lebih baik untuk manajemen interferensi. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini membandingkan algoritma TAFIRA dengan algoritma lain yaitu algoritma Minimum Interference dan algoritma Random Allocation untuk membahas masalah interferensi dengan parameter yang sama. Tugas Akhir ini mengkonfirmasi bahwa algoritma TAFIRA dapat memperoleh target system sum rate yang lebih baik dibandingkan dengan kedua algoritma lainnya. Algoritma TAFIRA menimbulkan sedikit peningkatan interferensi pada eNB dan D2D receiver. Tugas Akhir ini juga mengkonfirmasi bahwa, algoritma TAFIRA adalah solusi yang efisien untuk manajemen interferensi.

Kata Kunci : *Device-to-Device (D2D), Data rate, Alokasi sumber daya, TAFIRA, Minimum Interference, Random Allocation*

Abstract

Device-to-Device (D2D) communication has been proposed in Long Term Evolution (LTE) as an important solution to increase network throughput and reduce traffic load on the core network. D2D is a promising technique to provide wireless peer-to-peer services and increase spectrum utilization in LTE-Advanced networks. However, cellular signal transmission can cause interference on D2D communication when D2D communication uses the same resource as cellular user. This thesis wants to manage interference by minimizing interference on D2D receiver caused by cellular user signal using Two-Phase Auction-based Fair and Interference Resource Allocation (TAFIRA) algorithm. The TAFIRA algorithm can be used to minimize interference, both on evolved Node B (eNB) and on D2D communication pair receiver while still maintaining a system sum rate and ensuring fair resource allocation between D2D communication pairs. The use of interference management technology currently uses different parameters, so it is not known which technology is better for managing interference. Therefore, This thesis compare the TAFIRA algorithm with other algorithms, namely the Minimum Interference algorithm and the Random Allocation algorithm to discuss the same research problem. This thesis confirms that the TAFIRA algorithm can obtain a better system sum rate target than the other two algorithms. TAFIRA algorithm raises a slight increase in interference on eNB and D2D receiver. This thesis also confirms that, TAFIRA algorithm is an efficient solution for managing interference.

Keywords: *Device-to-Device (D2D), Data rate, Resource allocation, TAFIRA, Minimum Interference, Random Allocation*

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan teknologi telekomunikasi yang sangat pesat, layanan yang digunakan oleh masyarakat kini sudah semakin beragam. Salah satunya adalah perkembangan teknologi komunikasi bergerak seluler, dimulai dari penerapan teknologi seluler generasi pertama sampai dengan saat ini yang sudah memasuki generasi keempat. Dengan adanya hal itu maka pengguna telepon seluler pun semakin bertambah pesat. Peningkatan jumlah pengguna seluler secara signifikan tentu menyebabkan tingginya kepadatan trafik komunikasi dalam jaringan seluler, sehingga diperlukan adanya penambahan kapasitas jaringan. Salah satu solusi untuk menangani permasalahan tersebut

adalah dengan menerapkan komunikasi Device-to-Device (D2D) dalam jaringan komunikasi seluler [2]. Komunikasi D2D merupakan fitur yang nantinya akan diterapkan pada teknologi Fifth Generation (5G). D2D memungkinkan dua atau lebih perangkat telepon seluler untuk dapat berkomunikasi secara langsung tanpa harus melalui evolved Node B (eNB) terlebih dahulu. Akan tetapi, penerapan dari komunikasi D2D dapat menimbulkan interferensi terhadap komunikasi telepon seluler [2]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis ingin meminimalkan interferensi yang terjadi antara pengguna telepon seluler dengan pasangan komunikasi D2D dengan algoritma TAFIRA. Algoritma TAFIRA dapat digunakan untuk meminimalkan interferensi, baik pada evolved NodeB (eNB) dan pada penerima pasangan komunikasi D2D sambil tetap mempertahankan target sistem sum rate dan memastikan alokasi sumber daya yang adil diantara pasangan komunikasi D2D. Ada beberapa pendapat tentang hal ini, MD. Yeakub Hassan berpendapat dalam beberapa kasus, penggunaan algoritma TAFIRA mungkin memang bukan solusi yang optimal [1]. Oleh karena itu, penulis membandingkan algoritma TAFIRA dengan algoritma lain yang ada yaitu Minimum Interference Resource Allocation dan Algoritma Random Allocation untuk membahas masalah penelitian yang sama. Pada penelitian ini diharapkan dapat menemukan algoritma yang paling optimal untuk manajemen interferensi pada komunikasi device-to-device dan komunikasi seluler.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

Jurnal ini menganalisis komunikasi D2D dari perangkat seluler dan pasangan D2D yang bertujuan untuk meminimalkan interferensi yang terjadi dan pada saat yang sama tetap mempertahankan target system *sumrate*.

2.1 Komunikasi Device-to-Device

D2D merupakan terobosan teknologi baru yang dikembangkan sebagai fitur dari perangkat telepon seluler pada generasi selanjutnya. Teknologi ini diciptakan dan dikembangkan untuk menjangkau perangkat telepon seluler yang berada di luar area cakupan dari suatu jaringan seluler dengan memanfaatkan telepon seluler dengan fitur D2D sebagai relay. Sehingga teknologi ini dianggap mampu mengurangi beban kerja dari sebuah eNB, dimana teknologi D2D mampu menghubungkan dua *User Equipment* (UE) atau lebih untuk berkomunikasi langsung tanpa melalui eNB [7].

Selanjutnya, dikembangkan teknologi komunikasi D2D yang beroperasi pada spektrum terlisensi, khususnya pada jaringan LTE. Hal ini dikarenakan kebutuhan terhadap tingkat keamanan yang lebih baik. Sehingga perangkat D2D dapat melakukan transmisi langsung dengan memanfaatkan sumberdaya yang sama. Perangkat D2D dapat melakukan kontrol terhadap sumberdaya tersebut dengan melakukan kerjasama dengan eNB.

Kelebihan dari teknologi D2D adalah dimana perangkat dapat meringankan kerja dari sebuah eNB. Karena kemampuannya yang dimiliki memungkinkan dua perangkat atau lebih berkomunikasi secara langsung tanpa melalui eNB. Dimana salah satu perangkat akan berperan sebagai *relay* bagi pengguna yang lain dengan cara meneruskan *broadcast* dari eNB menuju perangkat yang berada di luar cakupan eNB tersebut. Dengan kemampuannya tersebut, teknologi ini juga memiliki kelemahan, dimana dapat menginterferensi perangkat seluler konvensional yang berada di dekatnya.

2.2 SINR, Data Rate dan Efisiensi Spektral

SINR merupakan nilai dari rasio antara daya sinyal yang diterima oleh pengguna (D2D maupun MUE) atau eNB terhadap jumlah daya interferensi dan daya noise yang terjadi [8]. Besarnya nilai dari daya interferensi dan noise akan menyebabkan SINR pada suatu komunikasi tidak memenuhi standar QoS. Nilai SINR akan semakin membaik ketika nilai daya yang diterima oleh pengguna semakin besar. Namun daya yang diterima harus masih dalam ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan. Dalam menentukan besarnya SINR digunakan persamaan . berikut [2]

$$SINR = \frac{P}{1+N} \quad (2.1)$$

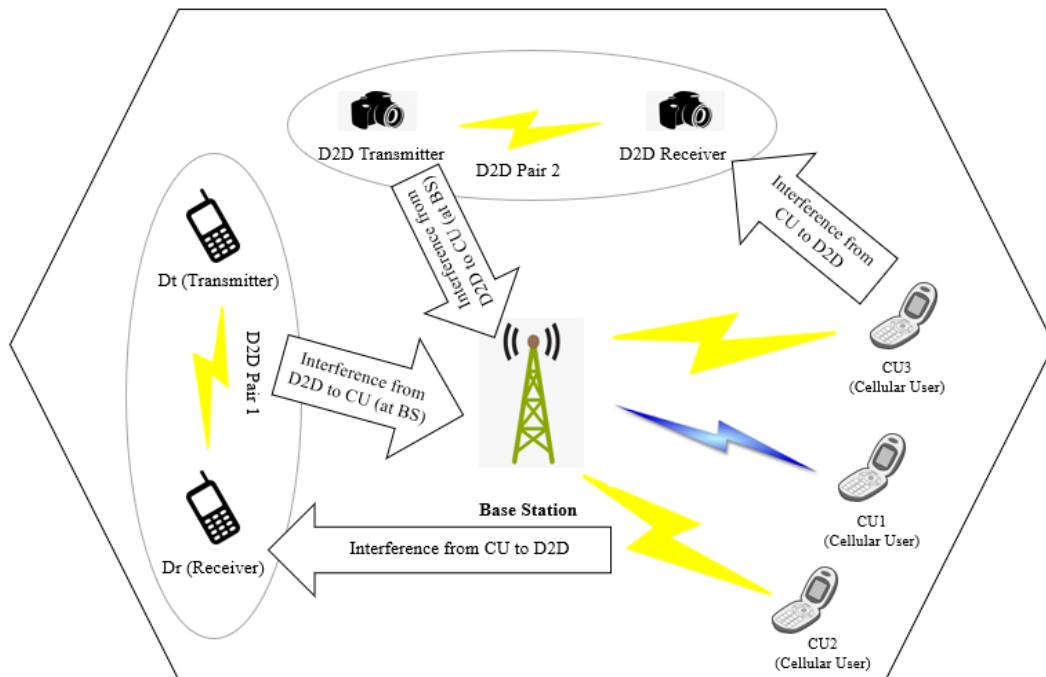
dimana :

- P = Daya pancar transmitter
- I = Daya Interferensi diterima
- N = nilai Noise yang timbul

2.2 Model Sistem

Dalam penelitian ini digunakan skema *uplink* untuk pengamatan interferensi yang terjadi pada sebuah jaringan seluler. Skema pengamatan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1

Link komunikasi dengan petir kuning menunjukkan link bersama antara pengguna seluler (CU) dan pasangan D2D, dan link komunikasi dengan petir biru solid dialokasikan hanya untuk komunikasi seluler. Dalam skenario uplink, CU1 menggunakan link khusus, CU2 membagikan linknya dengan pasangan D2D 1 dan CU3 membagikan linknya dengan pasangan D2D 2. Korban interferensi dalam skenario uplink ini adalah penerima D2D dari pengguna seluler dan eNB dari Pemancar D2D seperti yang ditunjukkan oleh panah dari kedua link yang dibagikan. Pasangan D2D ditampilkan di dalam daerah elips berbayang untuk menekankan fakta bahwa, ada persyaratan jarak maksimum untuk pemancar dan penerima sepasang D2D. Dalam makalah ini penulis membahas skenario berbagi sumber daya uplink antara D2D dan CU.



Gambar 1 Skenario Interferensi uplink antara komunikasi D2D dan seluler

2.3 Parameter Model Sistem

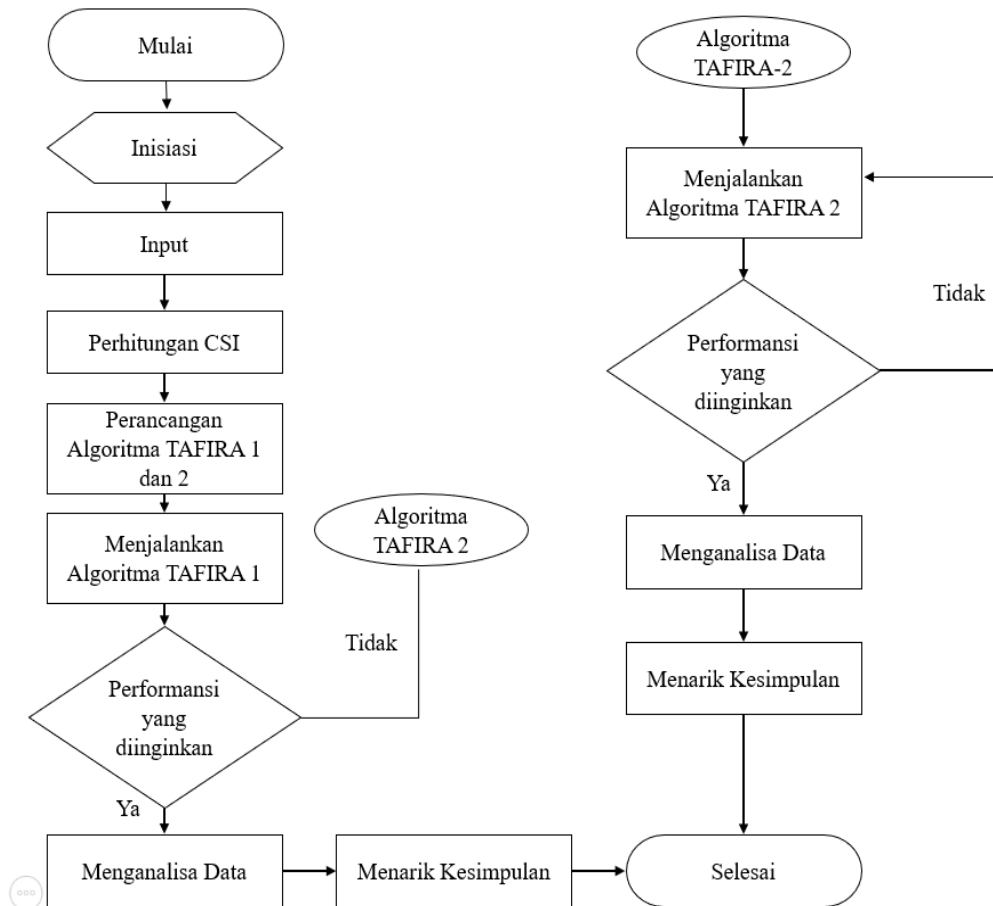
Dalam penelitian ini, sebuah sel relay dengan radius 500 meter diteliti untuk mempelajari pengaruh interferensi ketika pengguna D2D dianggap sebagai pengguna seluler. Relai ini terletak di pusat sel radius 500 meter dan pengguna seluler dan pemancar D2D didistribusikan secara acak di sekitarnya. Ujung penerima D2D didistribusikan di sekitar pemancar D2D dengan jarak maksimum 15 meter [8]. Saluran dicirikan oleh model saluran yang disajikan dalam Gambar 1. Parameter jaringan tercantum pada Tabel 1. Setiap pengguna seluler menetapkan satu *resource block* sementara D2D menjadikan seluler sebagai *resource block* untuk pencapaian D2D[8]. D2D hanya berbagi *resource* dengan pengguna seluler yang tidak mengganggu. Jumlah pasangan seluler dan D2D meningkat di setiap percobaan untuk mempelajari efek meningkatkannya pada *data rate* dan efisiensi spektral.

Tabel 1 Parameter Jaringan

Parameter	Nilai
Radius sel	500 m
Frekuensi <i>carrier</i>	1,8 GHz
Thermal noise (N_0)	10^{-7}
<i>Pathloss exponent</i> (α)	2
Daya transmit maksimal pada <i>user</i>	0,2 watt
Daya transmit maksimal pada relay	1 watt
<i>Bandwidth resource block</i>	180 KHz

3. Pembahasan

3.1. Alur Penelitian



Gambar 2 Alur Penelitian

3.2. Algoritma TAFIRA

Pada penelitian penulis mengusulkan algoritma *Two-phase Auction-based Fair and Interference Resource Allocation Algorithm* (TAFIRA) untuk dibandingkan dengan dua algoritma lainnya yaitu, *Minimum Knapsack-based Interference Resource Allocation* (MIKIRA) dan algoritma *Random Allocation*.

A. Fase 1

Algorithm 1 Phase One of TAFIRA (TAFIRA-1)

- 1: procedure TAFIRA-1(input: $C(c_1, c_2, \dots, c_N)$, $D(d_1, d_2, \dots, d_M)$) \rightarrow Output an allocation from C to D
- 2: Let P, B denote the bidding pool and bidder set
- 3: $P \leftarrow C(c_1, c_2, \dots, c_N)$ and $B \leftarrow D(d_1, d_2, \dots, d_M)$.
- 4: Bidding strategy for each bidder $d_j \in B$ is to bid for the channel $c_i \in P$ that results in minimum interference $I_{i,j}$ calculated from 6.
- 5: **while** $B \neq \emptyset$ **do**
- 6: Each bidder $d_j \in B$ will bid according to their bidding strategy.
- 7: **for** each bidden channel $c_i \in P$ **do**
- 8: Allocate c_i to the bidder $d_j \in B$ that causes the minimum interference according to 6.
- 9: If more than one such $d_j \in B$ exist then allocate c_i to the one that cause maximum sum rate according to 7
- 10: If ties still remain allocate c_i randomly to any of the tied bidders to break the tie.
- 11: Remove c_i from P
- 12: Remove d_j from B to which c_i was allocated.
- 13: **end for**
- 14: **end while**
- 15: Calculate the current total sum rate $curSum$
- 16: **if** $curSum \geq R$ **then**
- 17: **return current allocation** \rightarrow Allocation complete satisfying (2)
- 18: **else**
- 19: Go to second phase TAFIRA-2
- 20: **end if**

21: end procedure

Algoritma TAFIRA fase 1 dapat dilihat pada di atas Pada algoritma TAFIRA penulis mengasumsikan bahwa informasi saluran dihitung di eNB dan ditransmisikan ke pengguna seluler dan D2D di setiap interval penjadwalan 1 ms. Pendekatan berbasis lelang ini memiliki seperangkat penawar B dan kumpulan dari item penawaran P. Awalnya, semua saluran seluler $C (c_1, c_2, \dots, c_n)$ ditambahkan ke sekumpulan penawaran P dan semua pasangan D2D (d_1, d_2, \dots, d_m) D ditambahkan ke penawar seperti yang ditunjukkan di baris ke-3 dari algoritma fase 1. Setiap bidder $d_j \in B$ memiliki strategi untuk menawar saluran $c_i \in P$ yang menghasilkan gangguan minimum $I_{i,j}$ dihitung dari baris 6. Strategi ini disebutkan di baris 4 dan kemudian digunakan oleh penawar pada baris 6. *Loop while* di baris 5 berlanjut sampai tidak ada lagi penawar yang tersisa tanpa item dari sekumpulan penawaran P. Di baris 6 semua bidder dalam bid B menawar sesuai dengan strategi penawaran mereka. *Loop for* pada baris 7-13 mengalokasikan setiap saluran bidden c_i ke bidden $d_j \in B$ yang menyebabkan gangguan minimum sesuai dengan baris 6. Jika lebih dari satu d_j menimbulkan gangguan yang sama maka pilih yang menghasilkan jumlah maksimum sesuai baris 7. Jika nilainya masih sama maka langsung putus ikatan. Setelah alokasi baru selesai, c_i dihapus dari sekumpulan penawaran P dan pemenang tender d_j dari c_j dihapus dari B. Prosedur ini akan berlanjut sampai semua penawar di B dialokasikan dengan item dari P.

Di baris 15, kami menghitung jumlah total dari alokasi saat ini dan periksa apakah memenuhi permintaan R di baris 16. Jika permintaan terpenuhi maka penulis melaporkan alokasi saat ini sebagai alokasi akhir. Jika tidak, penulis menuju ke fase 2 TAFIRA. Fase satu dari TAFIRA menjamin keadilan alokasi sumber daya karena mengalokasikan setiap pasangan D2D ke sumber daya seluler [3].

B. Fase 2

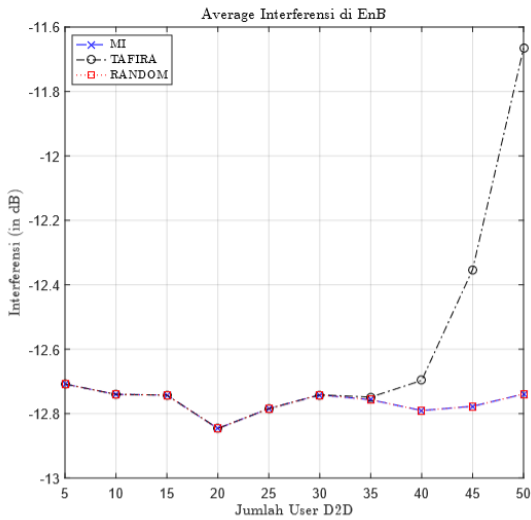
Algorithm 2 Phase Two of TAFIRA (TAFIRA-2)

- 1: **procedure** TAFIRA-2(input: $C(c_1, c_2, \dots, c_N), D(d_1, d_2, \dots, d_M)$) \rightarrow Output an allocation from C to D
- 2: $curSumrate \leftarrow$ current sum rate obtained from TAFIRA-1
- 3: **while** $curSumrate < R$ **do**
- 4: Put all unallocated channels after TAFIRA-1 in bidding pool P and all $d_j \in D$ in bidders set B
- 5: Each $d_j \in B$ that currently is allocated to c_i bid for another $c_k \in P$ which gives the maximum bidding amount $\frac{c_{k,j} - c_{i,j}}{I_{k,j} - I_{i,j}}$. This amount should be greater than 0
- 6: **if** no $c_k \in P$ is bidden for **then**
- 7: **return allocation satisfying R is not possible**
- 8: **end if**
- 9: **for** each bidden channel $c_k \in P$
- 10: Allocate c_k to the d_j that gives the maximum bidding amount.
- 11: Release the winner d_j from its previous allocation c_i .
- 12: Add c_i in the bidding pool P.
- 13: **end for**
- 14: $curSumrate \leftarrow$ calculate total sum rate according to Eq. (7).
- 15: **end while**
- 16: **return current allocation** \rightarrow Allocation complete satisfying (2).
- 17: **end procedure**

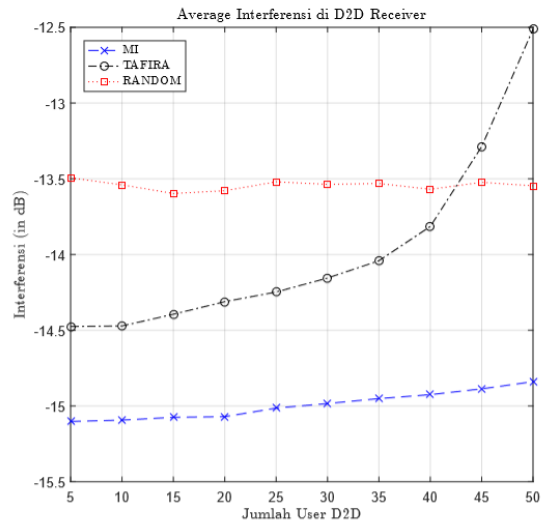
Algoritma untuk fase dua TAFIRA ditampilkan dalam Gambar 3.4. Baris 1 menyimpan nilai *sum rate* saat ini yang diperoleh dari baris 1 di $curSumRate$. *Loop while* dari jalur 3-15 berjalan sampai permintaan R terpenuhi. Pada baris 4 dari algoritma 2 kita menambahkan saluran yang tidak teralokasi setelah algoritma fase satu dalam P dan semua $d_j \in D$ pada penawar yang ditetapkan dengan B. Harap dicatat bahwa, pada fase ini semua penawar sebelumnya sudah dialokasikan c_i kepada mereka. Namun, *pool P* sekarang mengandung kanal yang sebelumnya tidak terisi. Pada baris 5, setiap d_j sekarang mencoba untuk menemukan $c_k \in P$ yang jumlah penawarannya maksimum di antara semua jumlah penawaran. Jumlah penawaran untuk c_k adalah $\frac{c_{k,j} - c_{i,j}}{I_{k,j} - I_{i,j}}$ [3] dan nilai dari itu harus positif untuk memastikan bahwa tingkat *sum rate* meningkat serta menimbulkan interferensi yang paling sedikit.

Dari baris 6-8 penulis memeriksa apakah ada saluran yang ditawarkan dengan jumlah penawaran positif. Jika tidak ada saluran seperti itu penulis melaporkan itu, permintaan R tidak dapat terpenuhi dan keluar dari algoritma. Jika tidak, itu berarti kita dapat mengalokasikan setidaknya satu saluran dari sekumpulan penawaran ke salah satu penawar setelah mereka melepaskan alokasi lama mereka. Dari baris 9-13, untuk setiap saluran yang dituju c_k dialokasikan ke penawar d_j . d_j melepaskan alokasi lama c_i di baris 11. c_i yang dilepas ditambahkan ke kolam penawaran di baris 12. Setelah setiap saluran bidden dialokasikan ke penawar maksimum, jumlah total dihitung dalam baris 14 untuk iterasi berikutnya. Jika nilainya lebih besar dari atau sama dengan R maka penulis telah menemukan alokasinya. Jika tidak, *loop while* dari baris 3 dimulai lagi.

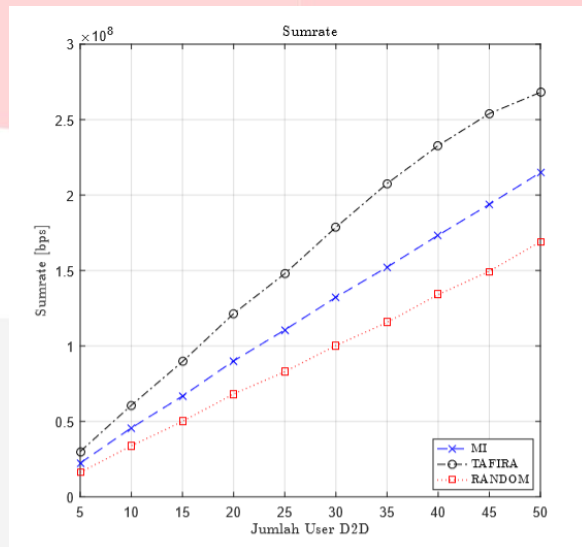
3.3. Hasil dan Analisis



Gambar 2 Grafik Interferensi in EnB



Gambar 3 Grafik Interferensi in D2D receiver



Gambar 4 Grafik Sumrate in link D2D

Pada grafik Interferensi di EnB penggunaan algoritma TAFIRA lebih buruk dibandingkan algoritma Minimum Interference Allocation dan Random Allocation karena pada algoritma TAFIRA pengalokasian user D2D dilakukan sebanyak 2 fase. Sehingga interferensi yang dihasilkan pun lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma Minimum Interference dan Random Allocation yang hanya mengalokasikan user sebanyak satu kali ke dalam resource block tanpa melihat nilai throughput yang dihasilkan. Selain itu meminimalkan interferensi di EnB bukan menjadi tujuan utama dari algoritma TAFIRA. Terlihat jelas pada gambar yang merupakan sebuah grafik perbandingan antara total interferensi terhadap variasi jumlah user D2D. Pada grafik tersebut nilai interferensi pada algoritma TAFIRA meningkat seiring bertambahnya jumlah user D2D yaitu mulai pada saat user D2D berjumlah 40.

Pada grafik Interferensi di D2D receiver hasil dari algoritma Random Allocation lebih buruk dibandingkan dengan algoritma Minimum Interference Allocation dan TAFIRA karena pada algoritma Random Allocation pengalokasian user D2D dilakukan secara acak sampai semuanya terpenuhi. Sehingga interferensi yang dihasilkan pun lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma Minimum Interference dan TAFIRA. Terlihat jelas pada gambar yang merupakan sebuah grafik perbandingan antara total interferensi terhadap variasi jumlah user D2D. Pada grafik tersebut nilai interferensi pada algoritma TAFIRA mengalami sedikit peningkatan dibandingkan dengan algoritma Minimum Interference Allocation, karena pada algoritma TAFIRA pengalokasian user D2D dilakukan sebanyak 2 fase.

Pada parameter System Sum rate penggunaan algoritma TAFIRA lebih unggul dibandingkan algoritma Minimum Interference dan Random Allocation karena pada algoritma TAFIRA fase 2, user D2D dialokasikan berdasarkan SINR yang memiliki nilai paling maksimum kepada resource block. Sehingga throughput yang dihasilkan pun lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma Minimum Interference dan Random Allocation yang hanya mengalokasikan user secara acak ke dalam resource block, tanpa melihat nilai SINR. Nilai SINR merupakan masukan dalam perhitungan throughput dimana nilai SINR berbanding lurus dengan throughput. Terlihat jelas pada gambar yang merupakan sebuah grafik

perbandingan antara system sumrate terhadap variasi jumlah user D2D. Pada grafik tersebut nilai system sum rate meningkat seiring bertambahnya jumlah user D2D.

4. Kesimpulan

Tugas Akhir ini telah membandingkan teknologi manajemen interferensi pada komunikasi D2D yang disebabkan oleh sinyal pengguna seluler menggunakan algoritma TAFIRA, Minimum Interference Allocation, dan Random Allocation. Terdapat 3 skenario yang disimulasikan dalam Tugas Akhir ini, yaitu skenario variasi jumlah user D2D, variasi jarak user D2D, dan variasi radius sel. Berdasarkan seluruh tahapan simulasi, kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut, pada skenario variasi jumlah user, semakin banyak jumlah user maka nilai sumrate dan efisiensi energi akan semakin meningkat. Begitu juga sebaliknya semakin banyak user D2D maka interferensi yang ditimbulkan akan semakin tinggi. Kinerja algoritma TAFIRA lebih unggul dibandingkan kinerja algoritma lainnya dalam meningkatkan datarate namun sedikit mengalami peningkatan interferensi pada EnB dan D2D receiver. Dengan nilai sum rate mencapai 368,09 Mbps.

5. Daftar Pustaka:

- [1] Chen Xu, Lingyang Song, and Zhu Han, "Resource Management for Device-to-Device Underlay Communication," Springer, 2014.
- [2] Chen Xu, Lingyang Song, Zhu Han, Dou Li, and Bingli Jiao, "Resource Allocation Using A Reverse Iterative Combinatorial Auction for Device-to-Device Underlay Cellular Networks," *Globecom 2012 – Wireless Communications Symposium*, pp. 4542-4547, 2012.
- [3] N. H. Almofari, S. Kishk, and F. W. Zaki, "Auction Based Algorithm for Distributed Resource Allocation in Multitier-Heterogeneous Cellular Networks," *11th International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES)*, Cairo, pp. 426-433, 2016
- [4] Monowar Hasan and Ekram Hossain, "Distributed Resource Allocation in 5G Cellular Networks," Book chapter in *Towards 5G: Applications, Requirements and Candidate Technologies*, Wiley, 2015.
- [5] M Series, "Guidelines For Evaluation of Radio Interface Technologies For Imt-advanced," Report ITU, pages 2135, 2009.
- [6] Marco Belleschi, Gábor Fodor, Demia Della Penda, Aidilla Pradini, Mikael Johansson, and Andrea Abrardo, "Benchmarking Practical RRM Algorithms For D2D Communications in LTE Advanced," *Wireless Personal Communications*, pages 1–28, 2013.
- [7] Z. Shen, J. G. Andrews dan B. L. Evans, "Adaptive Resource Allocation in Multiuser OFDM System with Proportional Fairness," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 4, no. 6, pages 2726-2737, 2005.
- [8] F. W. Zaki, S. Kishk, and N. H. Almofa, "Distributed Resource Allocation for D2D Communication Networks using Auction," *IEEE 34th National Radio Science Conference*, Egypt, pages 284-293, 2017.
- [9] F. S. Awangga, "Kajian Awal 5G Indonesia," *Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika*, Indonesia, halaman 97-114, 2015.