

INTERFERENCE MITIGATION PADA JARINGAN FEMTOCELL ARAH UPLINK DENGAN ALGORITMA INTERFERENCE-FREE POWER AND RESOURCE BLOCK ALLOCATION (IFPRBA)

INTERFERENCE MITIGATION IN UPLINK FEMTOCELL NETWORK USING INTERFERENCE-FREE POWER AND RESOURCE BLOCK ALLOCATION (IFPRBA) ALGORITHM

Mega Nugraha¹, Arfianto Fahmi², Linda Meylani³

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

¹meg.nugraha@gmail.com, ²arfiantof@telkomuniversity.ac.id,

³lindameylani@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan pengguna telepon seluler semakin bertambah. Operator selaku penyedia layanan harus meningkatkan kualitas layanan seiring pertumbuhan tersebut. Namun, terkadang layanan yang disediakan oleh operator masih mengecewakan ketika pengguna memasuki daerah *indoor*. Banyaknya lubang cakupan dan lemahnya daya terima menjadi masalah pada daerah *indoor* tersebut. Kini, *femtocell* dapat mengatasi masalah tersebut. Tetapi, pengguna sering mengubah posisi alat pemancar *femtocell* (HeNB) menyebabkan interferensi kerap terjadi. Interferensi yang dibahas disini adalah interferensi yang diakibatkan oleh cakupan *femtocell* yang saling menumpuk. Interferensi tersebut adalah interferensi *co-channel* dan *co-tier*. Keduanya menjadi masalah dalam penggunaan *femtocell*. Teknik mitigasi interferensi telah banyak diajukan. Algoritma *interference-free power and resource block allocation* (IFPRBA) merupakan salah satunya. Kali ini pengujian terhadap algoritma IFPRBA dilakukan dengan skenario daya dan *physical resource block* (PRB) yang berbeda. Algoritma ini merupakan algoritma terbaru dan terbaik saat ini untuk mengatasi interferensi yang diakibatkan oleh cakupan *femtocell* yang saling bertumpuk. Algoritma ini juga memberikan garansi perbaikan *throughput*. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa algoritma IFPRBA konsisten dalam menurunkan daya interferensi dan meningkatkan *throughput* uplink pengguna. Daya interferensi yang terjadi turun hingga 94.5% dari daya interferensi yang terjadi tanpa algoritma IFPRBA. *Throughput uplink* pengguna dapat meningkat hingga 2.66 kali lipat dari *throughput uplink* pengguna tanpa algoritma IFPRBA.

Kata kunci: *co-channel interference, co-tier interference, femtocell, LTE, mitigasi interferensi, algoritma*

Abstract

The growth of mobile phone users is increasing. Operators should continue to improve their service quality in line with it. Sometimes the services provided by the operator are far from pleasing especially when users enter indoor area. Coverage holes and low received power are problems in the indoor area. Now, femtocells solve the problem. However, users who frequently change the position of the femtocell transmitter device (HeNB) is causing interferences. Interferences discussed here are interference caused by coverage overlapping femtocell. The interferences are co-channel and co-tier interference. Both are problems in the use of femtocells. Various interference mitigation techniques have been suggested. Interference-free power and resource block allocation algorithm is one of them. This time, IFPRBA algorithm is tested with different power and the physical resource block (PRB) scenario. This algorithm is the newest and the best algorithm today to mitigate interferences caused by overlapping femtocell coverage. It also provides warranty for better throughput. Tests conducted showed that it is consistent in mitigating the total interference power and improve throughput uplink user. The interference power is degrading up to 94.5% of the interference power that occurs without IFPRBA algorithm. User's uplink throughput also increase up to 2.66 times the user's uplink throughput without IFPRBA algorithm.

Keywords: *co-channel interference, co-tier interference, femtocell, LTE, interference mitigation, algorithm*

1. Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan seluler yang tinggi membuat *femtocell* menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan tersebut pada area *indoor* [1]. Operator biasanya menggunakan frekuensi *uplink* yang sama untuk *femtocell* yang terpisah lokasi. Hal ini meningkatkan efisiensi *spectral* dan kapasitas jaringan. Namun, skenario frekuensi *reuse* ini mengakibatkan terjadinya *co-channel interference* ketika adanya *femtocell* dengan frekuensi sama yang berdekatan [1] [2]. Hal tersebut disebabkan oleh user yang suka memindahkan posisi pemancar

femtocell. Selain itu, ada juga *co-tier interference* yang merupakan interferensi yang terjadi karena adanya sinyal terima yang tidak diinginkan pada suatu femtocell dari femtocell lain yang menggunakan frekuensi kerja yang sama [3]. Dalam sistem OFDMA, interferensi *co-tier* terjadi saat penyebab interferensi dan korban berada dalam *resource* yang sama [4]. Jika interferensi *co-tier* terjadi antara sesama *femtocell*, terdapat juga interferensi *cross-tier* yang sama dengan *co-tier*, namun interferensi ini terjadi pada tier yang berbeda

Untuk mengatasi interferensi tersebut, [1] mengusulkan algoritma *interference-free power and resource block allocation* (IFPRBA) untuk menghindari *co-channel* dan *co-tier interference* pada *femtocell* yang bertumpuk. Interferensi *Co-tier* dihindari dengan optimasi daya *femtocell*. Sedangkan *co-channel interference* dikurangi melalui *resource block assignment* yang *non-interfering*. Algoritma IFPRBA menentukan jumlah *physical resource block* (PRB) yang digunakan untuk memastikan QoS. Selain itu, dengan *neighboring list* yang ada, seluruh *resource* yang ada dapat digunakan dengan dan *reuse* dengan efisien. Pada akhirnya, factor yang telah disebutkan diatas akan meningkatkan efisiensi spektral [1].

Algoritma IFPRBA merupakan yang terbaik untuk mengatasi interferensi pada *femtocell* untuk saat ini [1] dan kali ini, algoritma IFPRBA ini diuji dengan skenario berbeda untuk mengetahui konsistensi dari kinerja algoritma tersebut. Diharapkan nilai daya interferensi yang terjadi berada di bawah nilai yang dapat ditoleransi 3 mW dan terjadi peningkatan kinerja *throughput uplink* dibandingkan dengan kondisi sistem *femtocell* yang sama namun tanpa menggunakan algoritma.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1 Femtocell

Femtocell adalah *base station* yang kecil, berdaya rendah, murah, berjarak pendek, dan *plug and play*. *Femtocell* terhubung dengan *backhaul* jaringan melalui *internet protocol* (IP). Keuntungan menggunakan *femtocell* adalah *indoor coverage* yang dapat diperbaiki, menghilangkan *coverage hole*, dan peningkatan *operator service* pada pinggir *cell* [5].

Beberapa fitur-fitur yang dimiliki oleh *femtocell* adalah dapat bekerja dengan *handset* tanpa harus diubah, tanpa RNC, *interface* standar yang terbuka bagi jaringan, konfigurasi otomatis, dan dapat memberi akses kepada pengguna spesifik dan *subscriber list* yang dapat dikonfigurasi [5].

Secara fundamental, *femtocell* mencari *mobile phone* seperti *base station* normal. Cara komunikasi juga sama, menggunakan frekuensi yang sama, dan menggunakan teknik serta protokol yang sama. Sinyal *mobile phone* dikonversi dan dikirim dengan internet *broadband* melalui *femto gateway*. *Femto gateway* menghubungkan ratusan bahkan ribuan *femtocell* dan mengkonversi trafik menjadi format yang sama seperti melalui RNC untuk *cell outdoor* [5].

Standardisasi tentang *femto* pertama kali dipublikasikan di 3GPP *release* 8. Untuk generasi LTE, 3GPP memberi istilah *Home eNodeB* (HeNB). Sedangkan untuk UMTS diberi istilah *Home NodeB* (HNB). HNB dan HeNB dikembangkan bersamaan pada 3GPP *release* 8 karena *macro* LTE saat *femto* dikembangkan belum merata [6].

2.2 Metoda akses Pada Femtocell

- a. Open Access
Seluruh pengguna dapat terhubung langsung dan kedudukannya disamakan. Mode ini membutuhkan *handover* jika berpindah dari cakupan sel ke sel yang lain [7].
- b. Close Access
Hanya pengguna yang terdaftar pada *femtocell* yang dapat dilayani. Fitur ini merupakan salah satu keunggulan *femtocell* karena mirip dengan *close subscriber group* (CSG) pada 3GPP.

3. Permodelan dan Perancangan Sistem

3.1 Prosedur dan Parameter Simulasi

Pada tugas akhir ini, skenario dan simulasi dalam mitigasi interferensi dengan algoritma IFPRBA terbagi menjadi beberapa tahap. Tahap pertama adalah menentukan parameter simulasi yang digunakan. Tahap kedua adalah merancang model yang digunakan untuk simulasi. Tahap ketiga adalah menerapkan algoritma mitigasi interferensi IFPRBA pada model yang telah dirancang. Dan tahap terakhir adalah perhitungan simulasi untuk pengambilan data yang digunakan pada analisis. Simulasi dilakukan dengan metode *monte carlo* 10^3 .

FMS mengatur seluruh HeNB yang teregistrasi padanya. Algoritma IFPRBA digunakan pada FMS agar dapat mengatur seluruh HeNB agar interferensi yang terjadi dapat diminimalisasi dan komunikasi berjalan dengan baik.

Simulasi terbagi menjadi tiga skenario. Parameter untuk seluruh skenario dapat dilihat pada tabel 1. Pada skenario pertama, daya pancar *femtocell* yang menumpuk diubah oleh algoritma IFPRBA menjadi 3 mW. Sedangkan untuk skenario kedua, daya pancar tersebut diubah menjadi 15 mW dan pada skenario ketiga menjadi 30 mW.

Tabel 1 Parameter jaringan *femtocell* untuk simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah <i>Femtocell</i>	5
Jari-jari <i>femtocell</i>	5 meter
Jumlah pengguna <i>femtocell</i>	10
<i>Deployment type / mode</i>	<i>close access mode</i>
<i>Frame structure</i>	FDD/CA
Frekuensi <i>carrier</i>	700 MHz
<i>Bandwidth</i>	10, 15, 20 MHz
Jumlah PRB	50, 75, 100
Daya Pancar pengguna <i>Femtocell</i>	20 dBm (100 mW)

Seluruh skenario dilakukan dengan jumlah PRB 50, 75, dan 100. Jumlah PRB tersebut diubah untuk melihat efek algoritma IFPRBA pada bandwidth frekuensi yang berbeda, yaitu pada *bandwidth* 10, 15, dan 20 MHz. *Throughput uplink user* dan daya interferensi dihitung dan dianalisa untuk mengetahui kinerja dan efek dari algoritma IFPRBA.

3.2 Diagram Alir Pengujian

Input yang dibutuhkan dalam simulasi ini adalah tabel QoS *Class Identifier* (QCI), besar daya *noise* yang terjadi, dan *neighboring list*. Tabel QCI dapat dilihat pada tabel 2. Tabel tersebut berisi jenis QCI, jumlah PRB yang harus disediakan oleh jaringan, dan tipe *Guaranteed Bit Rate* (GBR). Tabel ini digunakan oleh algoritma IFPRBA untuk menentukan jumlah PRB yang harus disediakan.

Besar daya *noise* yang terjadi diasumsikan sebesar 5 dB. *Noise* ini belum termasuk redaman tembok, lantai, dan bangunan. *Noise* ini merupakan besar *noise* yang fluktuatif yang digunakan sebagai pencegahan terhadap hal yang tidak diinginkan (*precaution*).

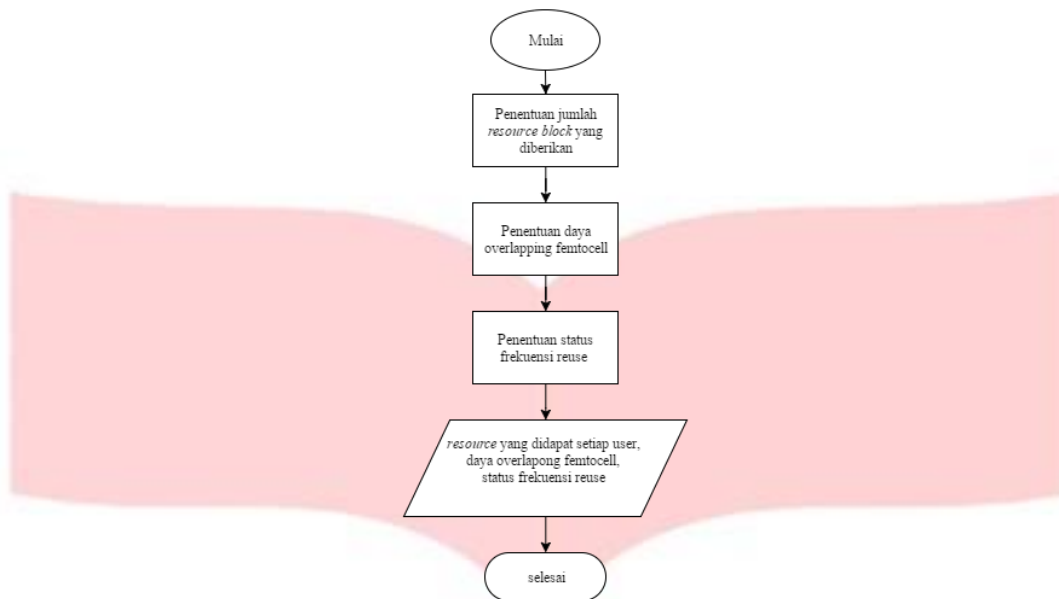
Neighboring list yang dibangkitkan adalah empat *femtocell* yang menumpuk pada *femtocell* yang diobservasi. Posisi keempat *femtocell* adalah random pada π dan jari-jarinya. Rentang random π berada pada 0 hingga 2π , dan rentang jari-jari *femtocell* antara 0 hingga 10m.

User yang dibangkitkan adalah user di dalam *femtocell* yang diobservasi. Jumlahnya user yang dibangkitkan adalah 10. Model *deployment type* pada user adalah mode *closed access*. Mode tersebut membuat hanya user yang telah terdaftar saja yang dapat mengakses HeNB pada *femtocell*. User dibangkitkan dengan posisi random pada π dan jarak dari HeNB femto. Tidak ada perlakuan berbeda yang diberikan pada setiap posisi user.

Ketika user melakukan request layanan, jenis layanan dicocokkan dengan data pada tabel QCI. Selanjutnya, simulasi dilanjutkan menggunakan algoritma IFPRBA dan tanpa menggunakan algoritma IFPRBA. Bagian tersebut dijelaskan kemudian pada sub bab berikutnya. Hasil keluaran yang diperoleh dari simulasi berupa *throughput uplink user* dan daya interferensi yang kemudian dianalisa.

Tabel 2 Tabel QCI [3]

QCI	Number of PRBs	GBR type	Tolerable Delay
1	1	GBR	100 ms
2	3-24	GBR	150 ms
3	3-17	GBR	50 ms
4	5-13	GBR	300 ms
5	5-13	Non GBR	100 ms
6	5-24	Non GBR	300 ms
7	1-110	Non GBR	100 ms
8	1-110	Non GBR	300 ms
9	1-110	Non GBR	300 ms



Gambar 1 Diagram alir algoritma IFPRBA

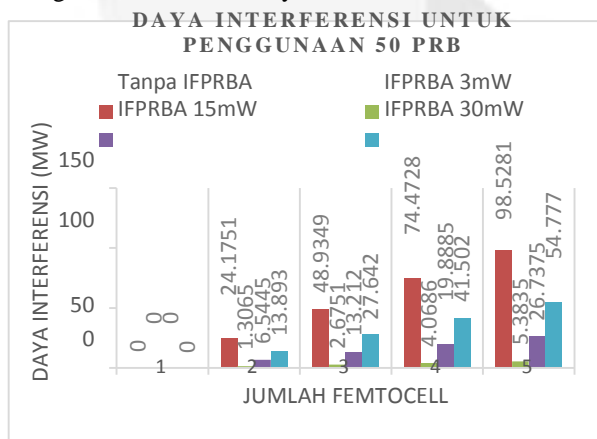
4. Analisis Hasil Simulasi

4.1 Kinerja Algoritma IFPRBA Terhadap Daya Interferensi

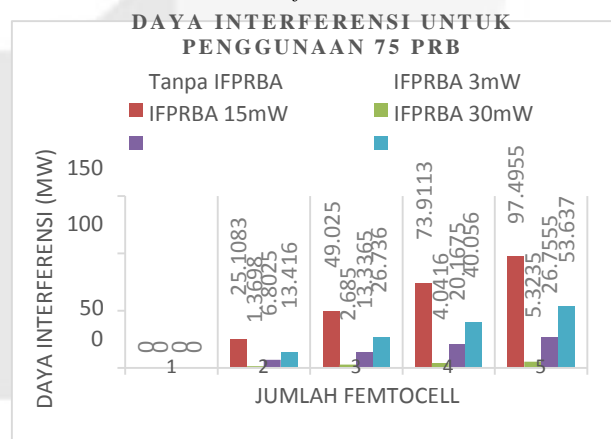
Data hasil simulasi menunjukkan algoritma IFPRBA konsisten dan terbukti dapat menurunkan daya interferensi *co-tier*. Penurunan daya interferensi disebabkan oleh penentuan daya kirim *femtocell* yang menumpuk oleh FMS menggunakan algoritma IFPRBA. Algoritma IFPRBA mengubah daya kirim *femtocell* yang menumpuk menjadi sebesar *P_{femto}*. *P_{femto}* pada simulasi ini bernilai 3mW, 15mW, dan 30mW. Daya interferensi yang terjadi dapat dikurangi dengan mengubah daya pancar *femtocell* yang menumpuk tersebut. Grafik pengurangan daya interferensi untuk setiap penggunaan *resource block* dapat dilihat pada gambar 2, 3, dan 4.

Hasil analisis tersebut menunjukkan algoritma IFPRBA konsisten dan terbukti dapat menurunkan daya interferensi *co-tier*. Penurunan daya interferensi disebabkan oleh penentuan daya kirim *femtocell* yang menumpuk oleh FMS menggunakan algoritma IFPRBA. Algoritma IFPRBA mengubah daya kirim *femtocell* yang menumpuk menjadi sebesar *P_{femto}*. *P_{femto}* pada simulasi ini bernilai 3mW, 15mW, dan 30mW. Daya interferensi yang terjadi dapat dikurangi dengan mengubah daya pancar *femtocell* yang menumpuk tersebut. Grafik pengurangan daya interferensi untuk setiap penggunaan *resource block* dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

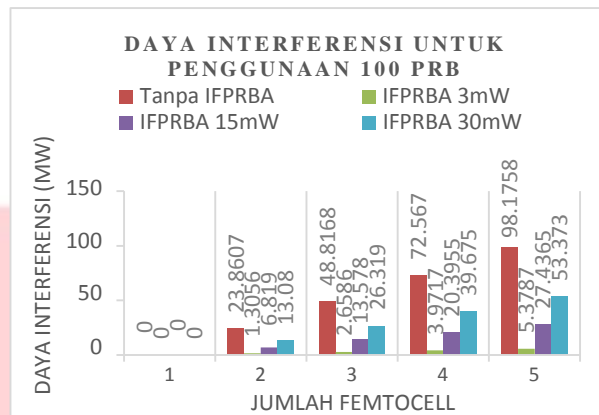
Dapat diambil kesimpulan bahwa skenario algoritma IFPRBA dengan penentuan daya 3mW menjadi yang paling baik dibandingkan dengan skenario IFPRBA dengan penentuan daya 15mW dan 30mW. Algoritma IFPRBA 3mW menghasilkan rata-rata total daya interferensi untuk 5 *femtocell* paling kecil, yaitu 5.361 mW, turun sebesar 94.539% dari daya interferensi tanpa IFPRBA. Bandingkan dengan IFPRBA 15mW yang menghasilkan rata-rata daya interferensi total sebesar 26.976 mW, 72.551%, untuk 5 *femtocell*, dan IFPRBA 30mW yang menghasilkan rata-rata daya interferensi total sebesar 53.929 mW, 44.981%, untuk 5 *femtocell*.



Gambar 2 Daya Interferensi untuk penggunaan 50 PRB



Gambar 3 Daya Interferensi untuk penggunaan 75 PRB

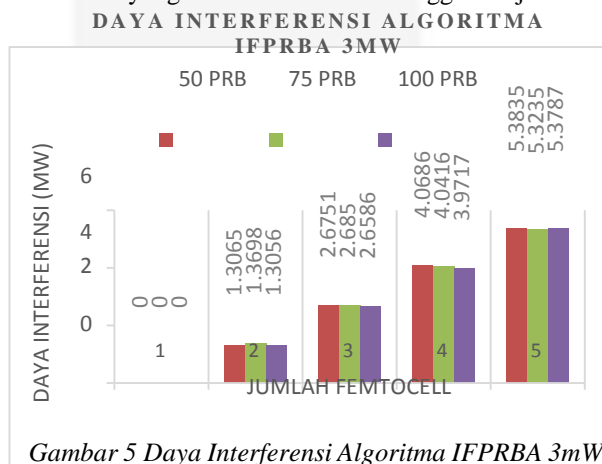


Gambar 4 Daya Interferensi untuk penggunaan 100 PRB

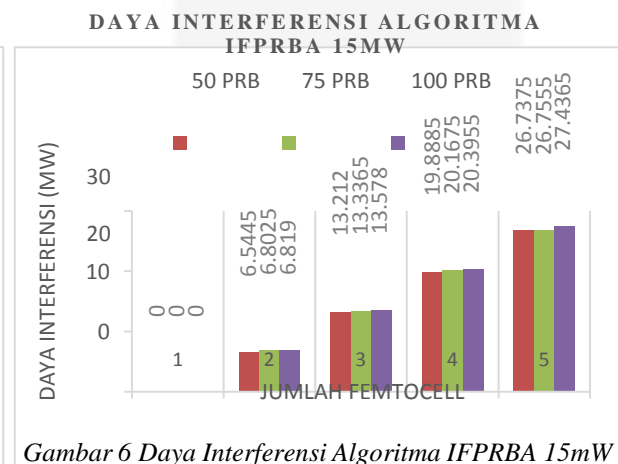
4.1.1 Pengaruh PRB Terhadap Daya Interferensi

Penggunaan jumlah PRB yang berbeda-beda tidak memberikan dampak pada daya interferensi karena algoritma IFPRBA memberikan alokasi PRB yang *non-interfering* kepada pengguna. Pemberian alokasi tersebut meniadakan interferensi *co-channel*. Penyebab dari interferensi *co-channel* adalah penggunaan frekuensi kerja yang sama dengan jarak yang berdekatan. PRB yang berbeda berarti frekuensi berbeda, walau memang berdekatan. Algoritma IFPRBA memberi alokasi PRB yang berbeda untuk setiap pengguna sehingga PRB yang digunakan setiap pengguna merupakan PRB yang *non-interfering*.

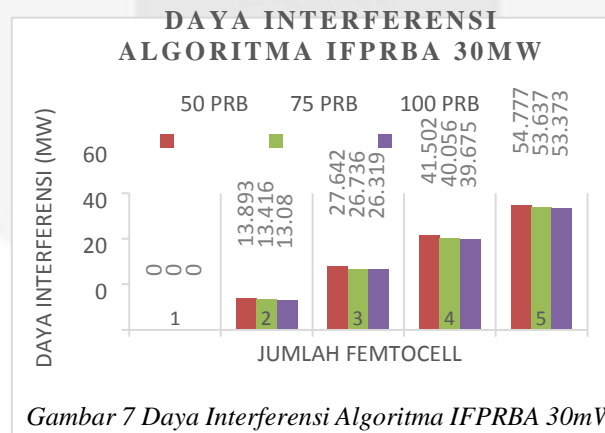
Selain itu, algoritma IFPRBA juga memberikan status penggunaan frekuensi *reuse*. Status frekuensi *reuse* ini berhubungan dengan penentuan daya oleh algoritma IFPRBA. *Femtocell* yang menumpuk tidak dapat menggunakan frekuensi yang sama jika daya interferensi yang terjadi jauh lebih besar dari daya interferensi yang dapat di toleransi. Daya interferensi yang masih besar menunjukkan bahwa masih terdapat interferensi *co-channel* yang terjadi. Namun, jika daya interferensi masih dapat ditoleransi, maka frekuensi *reuse* dapat dilakukan [1]. Pada Tugas Akhir ini, jauh lebih besar dari daya interferensi yang dapat ditoleransi didefinisikan dengan 5 kali daya interferensi yang ditoleransi 3mW sehingga menjadi 15mW



Gambar 5 Daya Interferensi Algoritma IFPRBA 3mW



Gambar 6 Daya Interferensi Algoritma IFPRBA 15mW

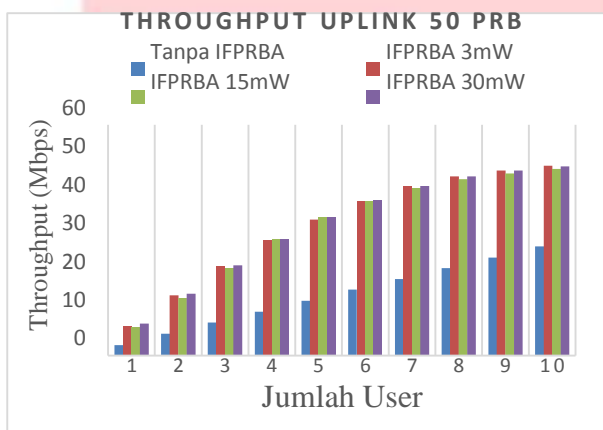


Gambar 7 Daya Interferensi Algoritma IFPRBA 30mW

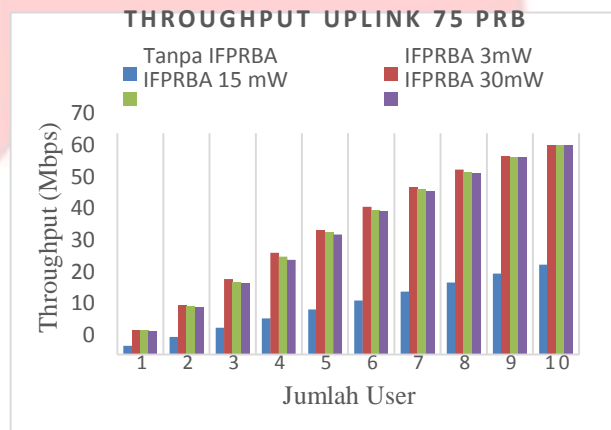
4.2 Kinerja Algoritma IFPRBA Terhadap *Throughput Uplink*

Pada penggunaan 50 PRB, rata-rata kenaikan *throughput uplink* pada skema daya 3mW, 15mW dan 30mW menjadi 2.37 kali, 2.63 kali ketika menggunakan 75 PRB, dan 2.66 kali ketika menggunakan 100 PRB. Dan dapat disimpulkan bahwa algoritma IFPRBA konsisten meningkatkan *throughput uplink* pengguna.

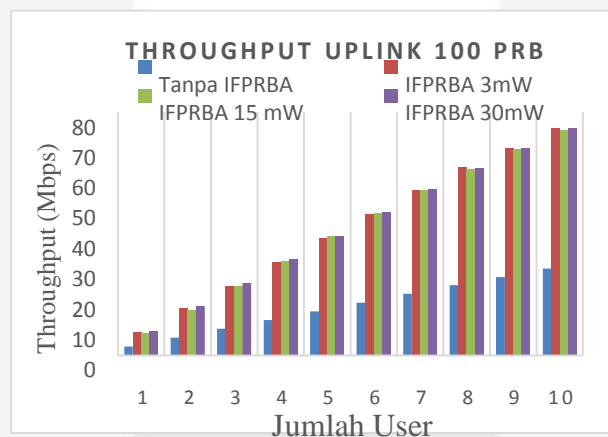
Jika berdasarkan rumus perhitungan *throughput* yang digunakan, penentuan daya algoritma IFPRBA seharusnya berpengaruh kepada *throughput* yang dihasilkan. Namun, terdapat faktor-faktor lain yang juga ikut mempengaruhi *throughput* seperti *path loss* pengguna dan jumlah *bandwidth* dari PRB yang digunakan. Kedua faktor tersebut dan pengulangan *montecarlo* 10^3 menghasilkan data seperti ini. Jadi, walaupun secara rumus seharusnya berpengaruh, penentuan daya ternyata tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap kenaikan *throughput* karena terdapat juga faktor lain yang lebih berpengaruh.



Gambar 8 Throughput uplink untuk simulasi menggunakan 50 PRB



Gambar 9 Throughput uplink untuk simulasi menggunakan 75 PRB

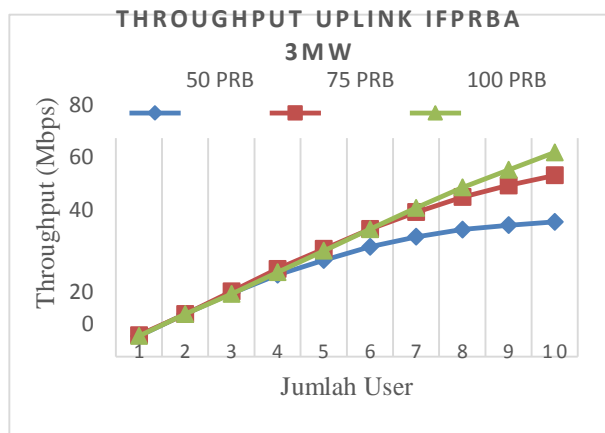


Gambar 8 Throughput uplink untuk simulasi menggunakan 100 PRB

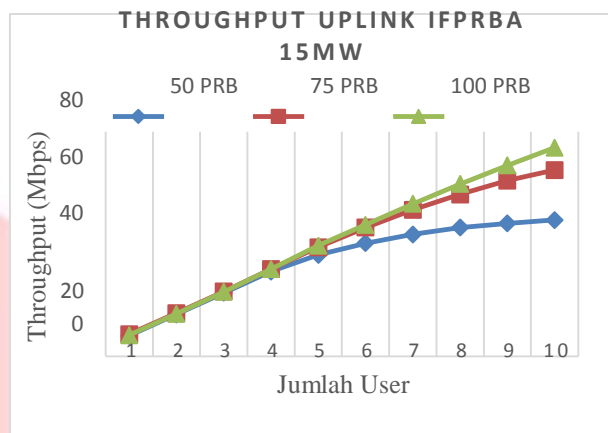
4.2.1 Kinerja Algoritma IFPRBA Terhadap *Throughput Uplink*

Hasil simulasi menunjukkan perbedaan signifikan terhadap penggunaan jumlah PRB yang lebih besar. Berarti, dapat disimpulkan bahwa PRB merupakan faktor signifikan dalam meningkatkan *throughput uplink*. Penggunaan jumlah PRB yang lebih besar dapat meningkatkan total *throughput uplink*. Semakin banyak *slot* PRB yang dapat diberikan kepada pengguna membuat algoritma IFPRBA dapat memberikan alokasi PRB lebih banyak untuk digunakan. Semakin banyak alokasi PRB yang digunakan, semakin besar *throughput* yang didapat.

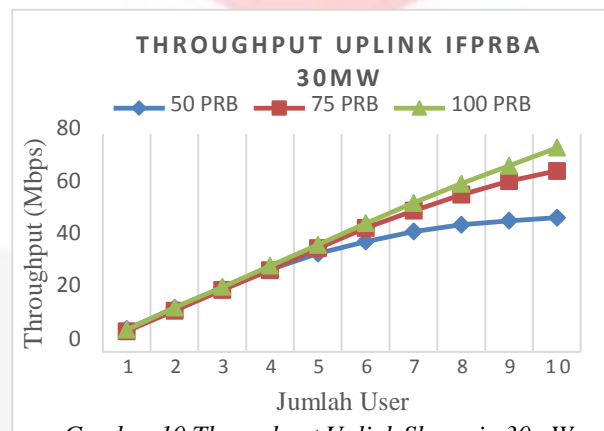
Selain itu, dapat disimpulkan juga bahwa penggunaan 50, 75, dan 100 PRB dapat melayani 10 pengguna. Hal ini terlihat dari *throughput* yang terus naik hingga 10 user pada setiap skema penentuan daya.



Gambar 9 Throughput Uplink Skenario 3mW



Gambar 12 Throughput Uplink Skenario 15mW



Gambar 10 Throughput Uplink Skenario 30mW

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah:

1. Algoritma IFPRBA terbukti konsisten dapat mengurangi daya interferensi *co-tier* dan *co-channel* dengan mengubah daya femtocell pemberi interferensi menjadi 3mW, 15mW, dan 30mW, memberikan alokasi PRB yang *non-interfering* pada pengguna, dan memberikan status penggunaan frekuensi *reuse* pada *femtocell* yang bertumpuk.
2. Dari ketiga skenario simulasi, penggunaan algoritma dengan penentuan daya 3 mW menjadi yang terbaik karena memiliki total daya interferensi yang paling kecil dengan rata-rata daya interferensi sebesar 5.361mW dengan penurunan daya sebesar 94.539%. Skema penentuan daya 15mW dan 30mW dapat mengurangi daya interferensi sebesar 72.551% dan 44.981%.
3. Jumlah PRB yang digunakan tidak mempengaruhi daya interferensi yang terjadi baik untuk simulasi penentuan daya menjadi 3mW, 15mW, dan 30 mW karena algoritma IFPRBA telah meniadakan interferensi *co-channel* dengan memberikan alokasi kanal yang *non-interfering* pada pengguna.
4. Menggunakan jumlah PRB yang lebih banyak terbukti meningkatkan *throughput* ketika menggunakan algoritma IFPRBA untuk seluruh skenario penentuan daya.
5. Algoritma IFPRBA dapat digunakan untuk 10 user *closed access mode* baik untuk penggunaan 50 PRB, 75 PRB, atau 100 PRB.
6. Ketika menggunakan algoritma IFPRBA dengan 50 PRB, *throughput* meningkat 2.37 kali dibandingkan tanpa menggunakan algoritma IFPRBA.
7. Ketika menggunakan algoritma IFPRBA dengan 75 PRB, *throughput* meningkat 2.63 kali dibandingkan tanpa menggunakan algoritma IFPRBA.
8. Ketika menggunakan algoritma IFPRBA dengan 100 PRB, *throughput* meningkat 2.66 kali lipat dibandingkan tanpa menggunakan algoritma IFPRBA.
9. Skenario algoritma IFPRBA yang memiliki kinerja paling baik adalah skenario IFPRBA 3mW dengan menggunakan 100 PRB karena memiliki daya interferensi paling rendah diantara skenario

penentuan daya yang lain dengan total *throughput uplink* paling besar diantara pilihan jumlah PRB yang lain

Daftar Pustaka

- [1] Padmapriya and Tamiliasari, "Co-tier and Co-channel Interference Avoidance Algorithm for Femtocell Networks," *International Journal of Electrical*, vol. 9, no. 1, pp. 21-27, 2015.
- [2] U. Jang, C. Keeseong, W. Ryu and H.-j. Lee, "Interference Management with Block Diagonalization for Macro/Femto Coexisting Network," *ETRI*, vol. 34, no. 3, pp. 297-307, 2012.
- [3] J. Zhang and Guillaume, *Femtocells: Technologies and Deployment*, Chichester: Wiley, 2010.
- [4] N. Saquib, E. Hossain, B. L. Le and D. i. Kim, "Interference Management in OFDMA Femtocell Networks: Issues and Approaches," *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 3, pp. 86-95, 2012.
- [5] N. Yusuf, *interference mitigation of multi-tier cellular network on femtocell using distributed fractional frequency reuse*, Bandung: Telkom University, 2015.
- [6] M. F. Rachman, *Analisis Penggunaan Metoda Penjadwalan Frekuensi Untuk Mengatasi Interferensi pada Jaringan LTE Femtocell*, Bandung: Telkom University, 2011.
- [7] T. A. Nugraha, *Simulasi dan Analisis Algoritma Manajemen Interferensi pada LTE Femtocell*, Bandung: Telkom University, 2011.
- [8] C. Cox, *An Introduction to LTE*, John Wiley & Sons Ltd, 2012.
- [9] M. Reardon, "Cisco predicts wireless data explosion," 2010.
- [10] Z. Jun and Andrews, "Adaptive Spatial Inter-cell Interference Cancellation in Multicell Wireless Network," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 28, no. 9, pp. 1455-1468, 2010.
- [11] H. Shin, "CTRL: A self-organizing femtocell management architecture for co-channel deployment," in *Proc. ACM international conference*, 2010.
- [12] D. L.-P. a. A. V. a. G. d. I. R. a. J. Zhang, "OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance," *IEEE commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 41-48, 2009.
- [13] W. Wang, G. Yu and A. Huang, "Cognitive radio Enhanced interference coordination for femtocell network," *IEEE Communication Magazine*, pp. 37-43, 2013.
- [14] Gulliver and Z. Feng, "graph coloring based spectrum allocation for femtocell downlink interference mitigation," *Proc. IEEE wireless Commun. Net. Conf.*, pp. 1248-1252, 2011.
- [15] Y.-S. Liang, W.-H. Chung, G.-K. Ni and I.-Y. Chen, "Resource allocation with interference avoidance in OFDMA femtocell network," *vehicular technologi, IEEE transactions on*, vol. 61, no. 5, pp. 2243-2255, 2012.