

INTERFERENCE MITIGATION PADA JARINGAN FEMTOCELL DENGAN PENYESUAIAN DAYA DAN BANDWIDTH MELALUI SKEMA SELF-CONFIGURATION

INTERFERENCE MITIGATION IN FEMTOCEL NETWORK WITH POWER AND BANDWIDTH ASSIGNMENT BY SELF-CONFIGURATION SCHEME

Robie Zulfalaily AK¹, Arfianto Fahmi², Linda Meylani³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹robiezulfalailyak@gmail.com, ²arfiantof@telkomuniversity.ac.id, ³lindameylani@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Seiring berkembangnya teknologi, komunikasi jarak jauh bukan lagi suatu hal yang eksklusif, kebutuhan akan komunikasi semakin tinggi, termasuk untuk di area *indoor building*. Permasalahan cukup besar yang dialami saat ini adalah sinyal dari BTS menurun drastis karena terhalang dinding dan beton, sehingga diperlukan adanya *femtocell* untuk menjaga kualitas sinyal. Salah satu permasalahan yang ditemui dalam penggunaan *femtocell* itu sendiri adalah munculnya interferensi yang dialami oleh pengguna yang berada pada jangkauan langsung BTS *macro*, yang dikenal dengan interferensi *cross-tier*. Permasalahan berikutnya yang muncul dari interferensi tersebut adalah tidak meratanya *throughput* yang diterima oleh pengguna *femtocell*.

Salah satu skema untuk memaksimalkan kembali kualitas sinyal yang diterima oleh pengguna *indoor building* atas permasalahan interferensi jenis tersebut adalah dengan skema *self-configuration*. Siterapkannya sistem *reward* dan *penalty* pada skema tersebut, *throughput* yang didapatkan oleh setiap pengguna akan terus dipantau, sehingga pada akhirnya mendapat *throughput* diatas nilai yang diinginkan dengan tidak terlalu berlebih.

Hasil yang didapatkan pada Tugas Akhir ini, skema *self-configuration* berhasil menaikkan *throughput* pengguna yang diobservasi pada saat dibawah nilai yang diinginkan, dan menurunkan *throughput* yang terlalu berlebih pada seluruh skenario *bandwidth* yang diujikan. Skema *self-configuration* dengan *bandwidth* 10MHz menjadi yang paling efektif jika dibandingkan dengan penggunaan dua *bandwidth* lainnya, dengan hasil saat *throughput* awal kurang dari 2Mbps, *throughput* meningkat 6.364 kali. Sedangkan ketika *throughput* awal lebih dari 2Mbps+Uf, *throughput* diturunkan 1.136 kali.

Kata kunci: *cross-tier interference, femtocell, LTE, interference mitigation, SON*

Abstract

As the development of technology, long distance communication is no longer an exclusive thing, the need for communication is getting higher, including in the area of indoor building. The big problem experienced today is signal from the BTS degraded because of walls and concrete, so it is necessary for femtocells to maintain signal quality. One of the problems encountered in the use of femtocell itself is the emergence of interference experienced by users who are in direct range of macro base stations, it known as cross-tier interference. The next major issue that emerged from such interference is uneven throughput received by femtocell users.

One of the schemes to maximize signal quality received by users of indoor building on these types of interference issues is the self-configuration scheme. The use of reward and penalty system on the scheme make the throughput obtained by any user will be continuously monitored and eventually got better throughput above the desired value yet still fair to other.

The results obtained in this final project, the self-configuration scheme managed to increase observed user throughput when it below the desired value, and it also managed to lower the throughput that is too excessive in all bandwidth scenarios tested. Self-configuration scheme with 10MHz bandwidth becomes the most effective compared with two other bandwidth with the result when the initial throughput of less than 2Mbps, throughput increased by 6.364 times. Meanwhile, when the initial throughput of more than 2Mbps + Uf, throughput lowered 1,136 times.

Keyword : *cross-tier interference, femtocell, LTE, interference mitigation, SON*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi maka permintaan terhadap komunikasi semakin besar, bahkan dalam area *indoor building*. Dimana sinyal dari BTS menurun drastis karena terhalang dinding dan beton. Sehingga diperlukan adanya teknologi *femtocell* untuk menjaga kualitas sinyal. *Femtocell* adalah teknologi micro BTS yang menggunakan level daya rendah, digunakan untuk memperluas cakupan dan meningkatkan kapasitas.

Femtocell merupakan tergolong teknologi baru dengan cakupan area lebih kecil dan efisiensi spektrum yang lebih tinggi untuk radio untuk akses jaringan dalam ruangan. *Femtocell* lebih mudah digunakan dan dapat dibeli dengan murah. Karena keunggulan ini, *femtocell* berpotensi menjadi teknologi akses radio yang mendominasi di jaringan selular masa depan.

Namun dengan berbagai keunggulannya, *femtocell* juga memiliki banyak tantangan. Salah satu tantangan utama adalah untuk mengkoordinasikan interferensi antara *macrocells* dan banyak *femtocell* overlapping bersama, yang disebut dengan *cross-tier interference*. Di samping itu, karena lokasi dan waktu dari *femtocell* yang benar-benar diatur oleh pengguna, sulit bagi operator untuk mengelola dan memelihara *femtocell* seperti *macrocells*. Maka dari itu, *femtocell* harus bisa dan bekerja dengan *self-optimizing*, *self-configuration*, dan *self-healing*. Strategi ICIC diperlukan untuk menjamin kualitas layanan untuk pengguna dan bekerja dengan cara *Self Organizing Network* (SON).

Sudah ada banyak sekali penelitian yang telah dilakukan untuk menuju sebuah metode ataupun untuk menyelesaikan permasalahan interferensi *cross-tier* ini. Diantaranya pada [1], D. L'opez-P'erez berokus pada pembagian spectrum untuk mengatasi permasalahan interferensi *cross-tier* ini. Pada [2], M. Y. Chung berfokus pada perencanaan frekuensi untuk menghindari interferensi antara *macrocell* dan *femtocell* menggunakan *fractional frequency reuse* (FFR). Pada [3], R. Y. Chang menganalisis skenario OFDMA *macrocel* dan *femtocell*.

Kontrol daya mulai dipertimbangkan pada penelitian [4] [5] [6] untuk mengatasi interferensi *cross-tier*. Pada [2], dua strategi yakni *open-loop* dan *closed-loop* dicoba untuk menyesuaikan daya dari jaringan *femtocell*. Penelitian [1] mencoba fungsi utilitas berdasarkan SINR untuk mengontrol daya pada *femtocell*. Pada [7], V. Chandrasekhar mempelajari beberapa skema untuk mengontrol daya dan menganalisis menurunnya performa *macrocell*.

Pada [8], Sundeep Rangann mencoba metode control dengan cara membagi *bandwidth macrocell* pada *subband*, dan juga metode adaptif untuk alokasi daya pada *subband*. Dan pada [9], dengan skema *Self-Configuration* mereka mencoba mengurangi interferensi *cross-tier* ini melalui penentuan daya dan *bandwidth*.

Pada tugas akhir ini, penulis mencoba mengujikan kembali dan sedikit memodifikasi penelitian [9], yakni skema dengan mengikuti karakteristik untuk mengurangi interferensi *ccross-tier*, pada jaringan *femtocell* dengan mempertimbangan standar minimal kualitas layanannya.

2. Dasar Teori

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* [13].

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 [13].

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* [13].

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 [14].

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 [15].
- 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.

2.3. Perhitungan Pathloss dan Throughput

Pada tugas akhir ini, rumus pathloss yang digunakan adalah rumus pathloss indoor. Persamaan pathloss indoor tersebut adalah [11] :

$$P_{\text{indoor}} = 15.3 + 37.6 \log r + L_w$$

Pathloss indoor dalam satuan dB. r merupakan jarak user ke pusat femtocell dan L_w merupakan redaman dinding, nilainya 10db pada Tugas Akhir ini.

Untuk throughput, Tugas Akhir ini menggunakan modifikasi persamaan Shanon sebagai berikut [11] :

$$TP_i = B_i \times \log_2 \left(1 + 0.5 \times \frac{P_i}{I} \right)$$

TP_i merupakan throughput user ke i , B_i merupakan bandwidth yang digunakan oleh user i . Dimana nilai bandwidth ditetapkan di awal dengan nilai yang berbeda sesuai skenario yang sedang dijalankan merupakan daya yang diterima oleh user ke. i . Sedangkan I merupakan nilai interferensi yang dirasakan oleh user i . Interferensi tersebut adalah sinyal daya terima user selain user yang diobservasi dan daya pancar BTS *macro*.

3. Pemodelan dan Simulasi

3.1. Spesifikasi Simulasi

Pada Tugas Akhir ini, akan dilakukan skenario dan simulasi dalam mitigasi interferensi dengan skema *self-configuration* yang terbagi menjadi beberapa tahap. Tahap pertama adalah menentukan parameter model simulasi yang digunakan. Simulasi dilakukan pada *femtocell* yang memiliki diameter 20 m berada di dalam jangkauan *macrocell* berdiameter 1732 m. Simulasi dilakukan pada *femtocell* yang memiliki mode *close access*, artinya hanya pengguna terdaftar yang bias menikmati jaringan *femtocell*, diatur untuk seluruh scenario sebanyak 10 pengguna.

Tahap berikutnya adalah menentukan lebar *bandwidth* yang digunakan, secara umum yang biasa digunakan pada *femtocell* adalah *bandwidth* sebesar 10MHz, 15MHz dan 20MHz. Pada Tugas Akhir ini pun digunakan *bandwidth* demikian. Saat simulasi dijalankan, pengguna disebar secara acak di dalam cakupan sel *femto*, daya *transmit* yang dipancarkan HeNB kepada para pengguna pun tidak sama besar, berada pada kisaran 10 dbm sampai 23 dbm.

Tahap terakhir adalah perhitungan hasil simulasi guna pengambilan data yang digunakan selanjutnya untuk menganalisa pengaruh skema *self-configuration* pada jaringan *femtocell* tersebut. Parameter yang akan dianalisis adalah *throughput* yang didapatkan sebelum dan sesudah melalui skema *self-configuration* pada user yang diobservasi, yaitu user 1 pada kondisi jumlah user 1 sampai 10 dengan kondisi *bandwidth* sesuai skenario yang dijalankan. Skema ini akan diujikan pada *bandwidth* 10 MHz, 15 MHz dan 20 MHz.

Tabel 1. Spesifikasi Simulasi

Parameter	Nilai
Diameter <i>femtocell</i>	20 meter
Diameter <i>macrocell</i>	1732 meter
Jumlah pengguna <i>femtocell</i>	10
Deployment type / mode	<i>close access mode</i>
Frame structure	FDD/CA
Frekuensi carrier	700 MHz
Bandwidth	10, 15, 20 MHz

Minimal Daya Transmit <i>Femtocell</i>	10 dBm
Maksimal Daya Transmit <i>Femtocell</i>	23 dBm
Daya Transmit <i>Macrocell</i>	43 dBm

3.2. Diagram Alir Pengujian



Gambar 1. Diagram Alir Pengujian

Gambar 3.1. merupakan diagram alir secara umum yang digunakan pada proses pengujian skema *self-configuration* pada Tugas Akhir ini. Diagram alir tersebut merepresentasikan seluruh skenario yang dilakukan. Spesifikasi sistem yang digunakan sama sesuai dengan parameter simulasi pada sub bab 3.1.

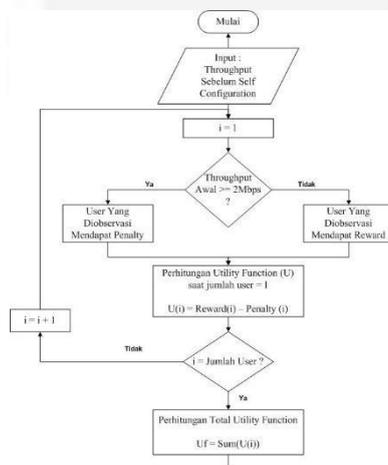
Hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan posisi user femtocell secara acak. Jumlahnya user yang dibangkitkan adalah sebanyak 10 user untuk ketiga skenario. Model *deployment type* pada user adalah mode *closed access*. Mode tersebut membuat hanya user yang telah terdaftar saja yang dapat mengakses HeNB pada *femtocell*. Pengguna disebar secara acak pada cakupan sel *femto*. Besarnya daya pancar HeNB secara acak diatur dengan ketentuan minimal 10dbm atau 10 miliwatt dan maksimal 23dbm atau 200 miliwatt.

Setiap pengguna dapat menyerap daya sebesar daya *transmit* yang diterimanya dikurangi *pathloss* yang ada pas pengguna tersebut. Setiap pengguna mendapatkan gangguan dari pengguna lain yang nilainya berbeda – beda, dan juga dari daya transmit *macrocell* itu sendiri.

Setelah semua data sudah ada, *throughput* awal pengguna sudah bisa dihitung dan dianalisa. Hasil yang ada menunjukkan bahwa pada beberapa jumlah pengguna, pengguna yang diobservasi mendapatkan nilai *throughput* di atas nilai yang diinginkan dan pada bagian dengan jumlah pengguna lain mendapatkan *throughput* dibawah nilai yang diinginkan. Selanjutnya, barulah proses kunci skema *self-configuration* dapat dilakukan.

guration

Skema *self-configuration* melalui beberapa proses yang harus dilalui. Hal pertama yang dilakukan adalah membandingkan nilai *throughput awal* yang dihasilkan dengan minimum nilai *throughput* yang diinginkan, yaitu 2Mbps, sesuai dengan [12]. Pemberian *reward* diberikan kepada pengguna yang memiliki nilai *throughput* dibawah 2Mbps, sedangkan *penalty* diberikan kepada pengguna yang memiliki nilai *throughput* diatas 2Mbps. Pengguna dengan nilai *throughput* melebihi 2Mbps akan mengakibatkan menjadi faktor penginterferensi untuk user lain pada jaringan *femtocell* tersebut.



Gambar 2. Diagram Alir Self-Configuration

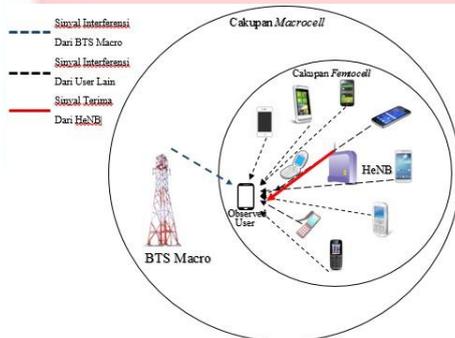
Setelah semua nilai *penalty* / *reward* didapatkan dari masing-masing kondisi, selanjutnya akan didapatkan nilai *Utility Function (U)* yang merupakan factor pengoreksi dari setiap kondisi jumlah pengguna tertentu, sebanyak kondisi jumlah pengguna yang dicakup oleh HeNB. Kemudian, dari semua nilai *U* yang ada, dengan menjumlahkannya secara keseluruhan akan didapatkan nilai yang kemudian dikenal dengan *Total Utility Function (Uf)*, yang merupakan factor pengoreksi utama dari sistem yang sedang dijalankan.

Proses terakhir dari skema *self-configuration* ini adalah dengan menghitung nilai *throughput* baru dengan menjadikan nilai *Uf* sebagai factor peningkatan nilai *throughput* bagi pengguna yang memiliki nilai *throughput* awal dibawah 2Mbps, dan menjadi factor penurunan nilai *throughput* bagi pengguna yang memiliki nilai *throughput* diatas 2Mbps+*Uf*.

Setelah skema *self-configuration* ini dijalankan, hasil yang didapatkan harus berupa data *throughput* baru dimana seluruh user yang berada pada jaringan *femtocell* dapat lebih stabil dan dan konsisten berada di atas 2Mbps.

3.4. Pemodelan Sistem

Terlihat pada gambar 3.4., ilustrasi permodelan layout simulasi sistem yang diterapkan dengan random. Layout tidak akan selalu seperti gambar 3.4. karena setiap pengulangan yang dilakukan, posisi *femtocell* dan pengguna akan berubah secara acak seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 3.1.



Gambar 3. Pemodelan Sistem

Pada simulasi ini, interferensi yang terjadi adalah interferensi *cross-tier*, dimana sumber interferensi tidak hanya berasal dari user lain pada femtocell tersebut, namun juga berasal dari daya *BTS macrocell* yang mencakupi daerah tersebut juga.

Salah satu pengguna akan menjadi objek penelitian pada Tugas Akhir ini. Pengguna yang diobservasi tersebut akan mendapatkan 2 jenis daya. Yang pertama adalah daya terima yang didapatkan langsung dari HeNB, dan daya interferensi yang akan diterima dari 9 pengguna lainnya pada system tersebut ditambah dengan daya pancar langsung dari *BTS macro*.

4. Pengukuran dan Analisis

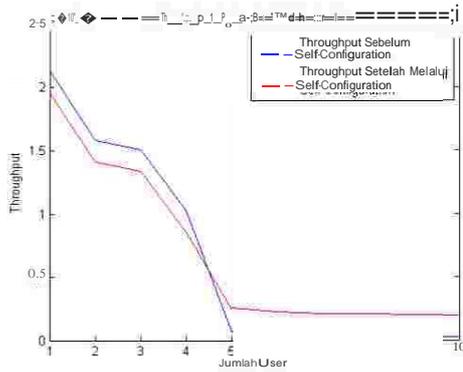
4.1 . Hasil dan Analisis Nilai Throughput

Tabel 2. Throughput Yang Didapat Observed User Pada Seluruh Skenario

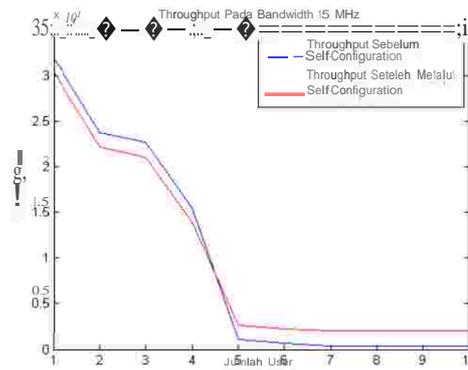
Jumlah User	BW 10MHz		BW 15MHz		BW 20MHz	
	Throughput Sebelum SC	Throughput Setelah Melalui SC	Throughput Sebelum SC	Throughput Setelah Melalui SC	Throughput Sebelum SC	Throughput Setelah Melalui SC
1	2.13E+07	1.96E+07	3.20E+07	3.04E+07	4.26E+07	4.12E+07
2	1.58E+07	1.41E+07	2.38E+07	2.22E+07	3.17E+07	3.02E+07
3	1.51E+07	1.34E+07	2.26E+07	2.10E+07	3.02E+07	2.87E+07
4	1.03E+07	8.56E+06	1.54E+07	1.38E+07	2.06E+07	1.91E+07
5	7.23E+05	2.46E+06	1.08E+06	2.69E+06	1.45E+06	2.92E+06
6	4.41E+05	2.18E+06	6.62E+05	2.27E+06	8.82E+05	2.35E+06
7	2.73E+05	2.01E+06	4.09E+05	2.01E+06	5.45E+05	2.02E+06
8	2.72E+05	2.01E+06	4.09E+05	2.01E+06	5.45E+05	2.02E+06
9	2.65E+05	2.00E+06	3.97E+05	2.00E+06	5.30E+05	2.00E+06
10	2.64E+05	2.00E+06	3.97E+05	2.00E+06	5.29E+05	2.00E+06

Dari data pada Tabel 4.1., jelas terlihat bahwa skema *self-configuration* sangat signifikan untuk memastikan setiap *user* yang ada pada jaringan *femtocell* mendapatkan nilai *throughput* minimal 2Mbps sesuai ketentuan dasar pada sistem yang dirancang. Nilai dengan tabel berwarna merah menggambarkan besar *throughput* yang didapat pengguna pada saat jumlah pengguna tertentu tidak mencapai batas nilai minimum, 2Mbps. Baik pada skenario dengan *bandwidth* 10MHz, 15MHz ataupun dengan 20MHz, pengguna yang diobservasi mendapatkan nilai *throughput* diatas 2Mbps sama – sama ketika jumlah pengguna di dalam *femtocell* tersebut sebanyak 1 sampai 4 pengguna. Dan tidak mencapai nilai tersebut saat jumlah pengguna sistem 5 sampai dengan 10 pengguna.

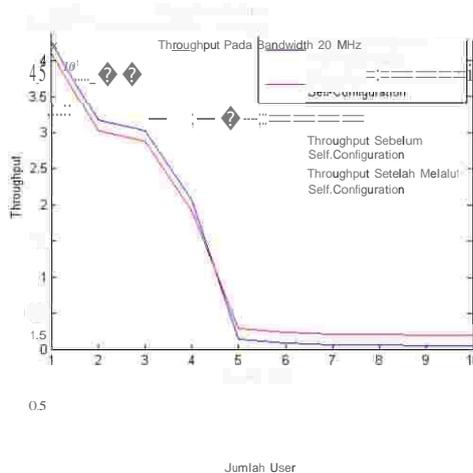
Dari Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, terlihat jelas perubahan nilai *throughput* sesuai dengan yang diinginkan pada Tugas Akhir ini. Garis dengan warna biru menggambarkan nilai *throughput* ketika skema *self-configuration* belum dilaksanakan, selalu berada di atas garis warna merah yang menggambarkan nilai *throughput* ketika skema *self-configuration* dilaksanakan, apabila nilai *throughput* awal diatas 2Mbps. Hal ini menggambarkan terjadi penurunan *throughput* senilai *Uf*. Begitupun sebaliknya, ketika nilai awal dibawah 2Mbps, garis berwarna biru berada dibawah garis berwarna merah, yang berarti terjadi kenaikan *throughput* senilai *Uf*.



Gambar 5. Throughput Yang Diterima Oleh Observed User Pada Kondisi Bandwidth 10Mbps



Gambar 6. Throughput Yang Diterima Oleh Observed User Pada Kondisi Bandwidth 15Mbps



Gambar 7. Throughput Yang Diterima Oleh Observed User Pada Kondisi Bandwidth 20Mbps

Sesuai dengan nilai U_f yang ada, pada skenario dengan *bandwidth* 10MHz, terjadi kenaikan ataupun penurunan nilai *throughput* sebesar 1.7356 Mbps. Maka dari itu, untuk user yang diobservasi dengan *throughput* melebihi 2Mbps + U_f , rata-rata mengalami penurunan sebesar 1.136 kali dan untuk *throughput* yang kurang dari 2Mbps rata-rata mengalami kenaikan *throughput* sebesar 6.364 kali. Untuk skenario kedua dengan *bandwidth* 15MHz, perubahan yang dihasilkan sebesar 1.6 Mbps, maka user yang diobservasi dengan *throughput* melebihi 2Mbps + U_f rata-rata mengalami penurunan sebesar 1.079 kali dan untuk *throughput* yang kurang dari 2Mbps rata-rata mengalami kenaikan nilai *throughput* sebesar 4.303 kali. Dan untuk skenario terakhir, ketika menggunakan *bandwidth* sebesar 20Mbps, nilai U_f yang ada sebesar 1.47 Mbps, maka untuk user yang diobservasi dengan *throughput* melebihi 2Mbps + U_f , rata-rata mengalami penurunan sebesar 1.053 kali dan untuk *throughput* yang kurang dari 2Mbps rata-rata mengalami kenaikan *throughput* sebanyak 3.273 kali.

Hasil analisis tersebut menunjukkan skema *self-configuration* konsisten dan terbukti dapat mengatasi permasalahan *cross-tier interference* dan menjadikan *throughput* pengguna menjadi lebih mendekati ke nilai yang diinginkan merata, sehingga setiap user mendapatkan layanan yang sesuai dengan standar kualitas yang ada. Hal ini dapat terjadi karena adanya kontrol ketat pada setiap *throughput* yang didapatkan oleh masing-masing pengguna.



Gambar 9. Tingkat Kenaikan Throughput Setelah Self-Configuration



Gambar 8. Tingkat Penurunan Throughput Setelah Self-Configuration

Sesuai dengan (11), skema terbaik adalah skema yang memiliki nilai U_f paling besar sehingga memiliki faktor kenaikan dan penurunan nilai *throughput* tertinggi, maka dapat diambil kesimpulan bahwa skenario skema *self-configuration* dengan *bandwidth* 10MHz menjadi yang paling baik dibandingkan dengan skenario lain yang menggunakan *bandwidth* sebesar 15MHz dan 20MHz. Skema *self-configuration* dengan *bandwidth* 10MHz dapat dengan baik menaikkan dan menurunkan *throughput* yang diterima oleh user yang diobservasi sesuai dengan kebutuhannya, diamana minimal mencapai 2Mbps, dengan nilai *Total Utility Function (Uf)* nya sebesar 1.735 Mbps didapatkan rata-rata penurunan *throughput* sebesar 1.362507 kali untuk *throughput* yang melebihi 2Mbps + U_f , dan untuk *throughput* yang kurang dari 2Mbps rata-rata mengalami kenaikan *throughput* sebanyak 14.58593 kali.

4.2. Hasil dan Analisis Nilai SINR

Tabel 3. SINR Yang Didapat Observed User Pada Seluruh Skenario

Jumlah User	SINR Sebelum SC	SINR Setelah SC		
		BW 10 MHz	BW 15 MHz	BW20 MHz
1	3.38	2.88	3.067	3.162
2	1.997	1.657	1.783	1.848
3	1.847	1.524	1.643	1.705
4	1.041	0.81	0.896	0.94
5	0.051	0.185	0.132	0.106
6	0.03	0.162	0.11	0.084
7	0.019	0.149	0.09746	0.072
8	0.019	0.149	0.09743	0.072
9	0.0185	0.1487	0.096	0.0718
10	0.0184	0.1486	0.096	0.0717

Parameter lain untuk melihat kualitas layanan dari suatu jaringan adalah dengan mengukur nilai SINR nya. Melalui penurunan rumus *throughput* yang melibatkan SINR, kita akan mendapatkan nilai – nilai SINR yang diinginkan baik sebelum melalui skema *self-configuration* ataupun sesudah melalui skema *self-configuration* untuk ketiga kondisi yang disimulasikan. Signal-To-Noise Ratio (SNR) itu sendiri adalah merupakan perbandingan antara daya sinyal terima dan daya noise. Senada dengan naik turunnya nilai *throughput* sesuai kaidah skema *self-configuration*, nilai SINR pun mengalami hal yang sama. Blok biru menggambarkan turunnya nilai SINR untuk semua skema simulasi, dan blok berwarna merah menggambarkan naiknya nilai SINR untuk semua skema simulasi.

Hal ini dikarenakan patokan utama skema *self-configuration* itu sendiri merupakan besarnya nilai *throughput*, sehingga nilai dari SINR akan berusaha mengejar nilai tertentu sehingga mendapatkan nilai *throughput* tersebut.

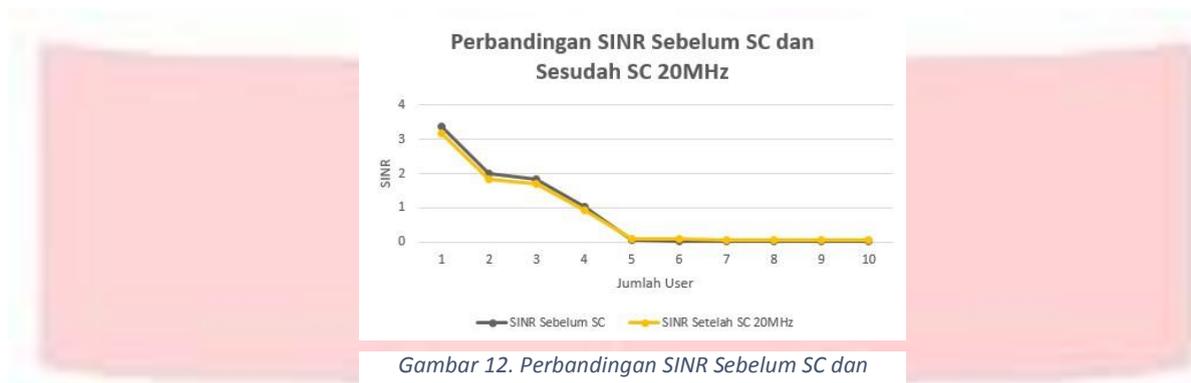
Dari Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, terlihat jelas perubahan nilai SINR sesuai dengan yang diinginkan pada Tugas Akhir ini.



Gambar 10. Perbandingan SINR Sebelum SC dan Sesudah SC 10MHz



Gambar 11. Perbandingan SINR Sebelum SC dan Sesudah SC 15MHz



Gambar 12. Perbandingan SINR Sebelum SC dan Sesudah SC 20MHz

4.3. Hasil dan Analisis Perubahan Daya Interferensi

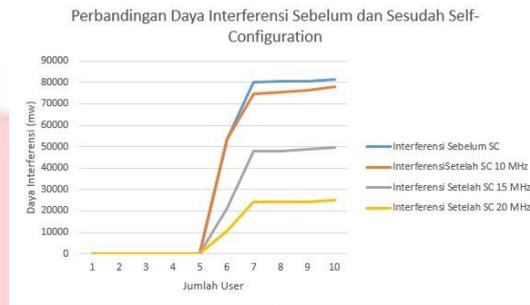
Tabel 4. Perubahan Daya Interferensi Pada Sistem Yang Diterima Observed User

Jumlah User	Daya Interferensi (mw)			
	Sebelum SC	Setelah SC 10 MHz	Setelah SC 15 MHz	Setelah SC 20 MHz
1	39.81	39.81	39.81	39.81
2	151.56	57.52	84.3	46.86
3	230.99	89.14	163.73	66.81
4	236.46	102.88	177.46	72.28
5	237.93	107.51	179.79	75.2
6	53429.26	53298.84	21355.64	10688.27
7	80088.08	74474.69	48014.45	24049.33
8	80547.38	75391.12	48129.83	24194.57
9	80597.23	76181.27	48757.47	24393.05
10	81380.6	78149.01	49743.68	25015.3

Parameter lain untuk membuktikan berhasilnya skema *self-configuration* pada suatu simulasi jaringan adalah dengan membandingkan besarnya daya interferensi yang diterima oleh *observed user* baik sebelum melalui skema *self-configuration* ataupun sesudah melalui skema *self-configuration* untuk ketiga skenario *bandwidth* yang diujikan.

Power control memiliki peranan penting dalam skema ini sehingga dapat memitigasi interferensi. Untuk pengguna yang mendapatkan nilai *throughput* lebih dari batas yang diinginkan, 2Mbps, daya yang diterimanya dari HeNB harus dikecilkan, begitupun sebaliknya, untuk pengguna yang mendapatkan nilai *throughput* kurang dari 2 Mbps, daya yang diterima dari HeNB akan ditingkatkan, begitu seterusnya untuk seluruh pengguna yang dicakup.

Hasil simulasi secara visual pada Gambar 4.10. dapat dilihat bahwa skema *self-configuration* berhasil memitigasi ataupun mengurangi interferensi yang ada. Untuk seluruh skenario *bandwidth* dan seluruh kondisi jumlah pengguna, besarnya interferensi yang diperoleh *observed user* selalu lebih rendah jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *self configuration*.



Gambar 13. Perbandingan Daya Interferensi Sebelum dan Sesudah Self-Configuration

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah:

1. Skema *self-configuration* dapat menjadi salah satu alternative yang cukup baik untuk membuat suatu sistem dimana seluruh *user* di dalamnya mendapatkan kualitas layanan yang sama.
2. Dari ketiga skenario simulasi, skema *self-configuration* dengan *bandwidth* sebesar 10MHz mendapatkan hasil terbaik diantara 2 pilihan *bandwidth* lainnya, yaitu 15MHz dan 20MHz.
3. Ketika menggunakan skema *self-configuration* dengan *bandwidth* 10 MHz, saat *throughput* awal kurang dari 2Mbps, *throughput* meningkat 6.364 kali. Sedangkan ketika *throughput* awal lebih dari 2Mbps+Uf, *throughput* diturunkan 1.136 kali.
4. Ketika menggunakan skema *self-configuration* dengan *bandwidth* 15 MHz, saat *throughput* awal kurang dari 2Mbps, *throughput* meningkat 4.303 kali. Sedangkan ketika *throughput* awal lebih dari 2Mbps+Uf, *throughput* diturunkan 1.079 kali.
5. Ketika menggunakan skema *self-configuration* dengan *bandwidth* 20 MHz, saat *throughput* awal kurang dari 2Mbps, *throughput* meningkat 3.273 kali. Sedangkan ketika *throughput* awal lebih dari 2Mbps+Uf, *throughput* diturunkan 1.053 kali.
6. Skema *self-configuration* sangat cocok digunakan untuk sistem yang menginginkan kestabilan kualitas layanan untuk *user*nya, bukan mencari *throughput* setinggi – tingginya.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap skema *self-configuration* untuk metode open access atau random access deployment pada femtocell.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut skema *self-configuration* agar mendapatkan hasil tepat pada nilai yang diinginkan

Daftar Pustaka

- [1] D. L'opez-P'erez, A. Valcarce, G. de la Roche, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, p. 41 – 48, 2009.
- [2] C. Y. Oh, M. Y. Chung, H. Choo, and T.-J. Lee, "A Novel Frequency Planning for Femtocells in OFDMA-Based Cellular Networks Using Fractional Frequency Reuse," *Computational Science and Its Applications ICCSA*, p. 96–106., 2010.
- [3] R. Y. Chang, Z. Tao, J. Zhang and C.-C. Kuo, "A graph approach to dynamic fractional frequency reuse (FFR) in multi-cell OFDMA networks," *Proc. IEEE ICC '09*, p. 1–6, 2009.
- [4] H.-S. Jo, C. Mu, J. Moon, and J.-G. Yook, "Interference mitigation using uplink power control for two-tier femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun*, vol. 8, no. 10, p. 4906–4910, 2009.
- [5] V. Chandrasekhar, J . G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: a survey," *IEEE Comm. Magazine*, vol. 46, p. 59–67, 2008.
- [6] N. Arulselvan, V. Ramachandran, and S. Kalyanasundaram, "Distributed power control mechanism for HSDPA femtocells," *Proc. IEEE VTC*, 2009.
- [7] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, T. Muharemovic, Z. Shen, and A. Gatherer, "Power control in two-tier femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 8, p. 4316 – 4328, 2009.
- [8] S. Rangan, "Femto-Macro Cellular Interference Control with Sub-band Scheduling and Interference Cancellation," *arXiv: 1007.0507..*
- [9] Wang Cheng, Li Hongyan, Li Jiandong, Ma Yinghong, "A Self-configuration Scheme for Power and Bandwidth Assignment in Femtocell Networks," *Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), 2011 IEEE International Conference*, p. 1 – 5, 2011.
- [10] T. A. Nugraha, *Simulasi dan Analisis Algoritma Manajemen Interferensi pada LTE Femtocell*, Bandung, 2011.
- [11] F. Forum, "Interference Management in OFDMA Femtocells," Maret, 2010.
- [12] 3. T. 2. V. (2010-09), "Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for Home Node B (HNB) and Home eNode B (HeNB)," September, 2010.
- [13] Jie Zhang, Guillaume de la Roche, *emtocell: Technologies and Deployment*, University of Bedfordshire, UK. Wiley, 2010.
- [14] Huawei, "Roll Out 4G Telkomsel Acceptance Report," 2015.
- [15] P. Kulkarni, W. H. Chin, and T. Farnham, "Radio resource management considerations for lte femto cells," *SIGCOMM Computing Communication Review*, vol. 40, p. 26–30, Mar 2010.
- [16] M. Andrews, V. Capdevielle, A. Feki, and P. Gupta, "Autonomous spectrum sharing for mixed LTE femto and macro cells deployments," *Proceedings of IEEE Infocom*, 2010.