

ANALISIS KINERJA FRACTIONAL POWER CONTROL UPLINK PADA SISTEM FFR LTE

ANALISYS FRACTIONAL POWER CONTROL UPLINK PERFORMANCE IN FFR LTE SYSTEM

Radian Bintang Wicaksono¹, A. Ali Muayyadi², Linda Meylani³

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

¹radian.bintang@gmail.com, ²alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id, ³lim@ittelkom.ac.id

Abstrak-Perkembangan teknologi seluler semakin berkembang pesat berdasarkan kebutuhan *data rate* yang semakin tinggi. LTE merupakan generasi keempat yang dicetuskan oleh 3GPP yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Dalam sistem ini daya pancar pengguna merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan *data rate*.

Daya yang dipancarkan dari pengguna menuju *base station* mempengaruhi kecepatan *data rate* yang menjadi pertimbangan utama dalam arah *uplink*. Besar kecilnya daya yang dipancarkan pengguna akan mempengaruhi kualitas *data rate* bagi pengguna itu sendiri maupun bagi pengguna yang lain. Padahal pada sistem ini menjanjikan kecepatan *data rate* yang tinggi. Salah satu layanan yang ditawarkan pada LTE adalah *Fractional Power Control*.

Dalam tugas akhir ini membahas salah satu teknik untuk mengatasi kondisi tersebut, yakni *Fractional Power Control* yang berfungsi untuk mengontrol power yang dipancarkan oleh pengguna terhadap *base station* dengan mengatur nilai faktor kompensasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan nilai faktor kompensasi 0,6 menunjukkan performansi yang paling optimal dalam sistem dibandingkan dengan nilai faktor kompensasi yang lebih kecil dari 0,6 dan faktor kompensasi yang lebih besar dari 0,6. Dengan nilai faktor kompensasi yang optimal, pengguna dapat menghemat daya pancar sebanyak $\pm 8,42$ dB terhadap daya maksimum yang dibolehkan oleh pengguna.

Kata kunci : LTE, *Fractional Power Control*, FFR, *uplink*, dan P_{TX}

Abstract-The development of mobile technology is growing rapidly based on the needs of the higher data rate. LTE is the fourth generation triggered by 3GPP that can meet those needs. In this system the user transmit power is the one of the factors that can affect the speed of the data rate.

Power emitted from the user affect the speed of data rate to base station which key consideration in uplink direction. The size of the radiated power users will affect the quality of the user data rate for itself and for other users. Though this system promises a high speed of data rate. One of the services offered on LTE is *Fractional Power Control*.

In this Final Project discusses a technique to overcome these conditions, the *Fractional Power Control* which serves to control the power emitted by the user to base station by adjust the compensation factor value. The simulation result show that the use of the compensation factor value of 0,6 indicates the the most optimal performance in the system compared to the value of the compensation factor smaller than 0,6 and greater compensation factor of 0,6. With the most optimal value of compensation factor, the user can save the transmit power as much as $\pm 8,42$ dB of the maximum power allowed by the user.

Keyword : LTE, *Fractional Power Control*, FFR, *uplink*, and P_{TX}

1. Pendahuluan

Tren perkembangan teknologi komunikasi semakin berkembang dengan semakin banyaknya aplikasi yang membutuhkan *data rate* yang tinggi. LTE menjanjikan kecepatan *data rate* yang tinggi. Hal ini berdampak konsumsi daya oleh pengguna. Salah satu fasilitas yang ditawarkan oleh LTE adalah teknik *Power Control* yang berfungsi untuk mengontrol power yang dipancarkan oleh pengguna menuju *base station*. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan metode *Open Loop Power Control* yang dilakukan dengan tanpa adanya *feedback* antara pengguna dan *base station* dengan mengatur faktor kompensasi *pathloss*. Teknik ini biasa disebut dengan *Fractional Power Control* (FPC). Pada Tugas Akhir sebelumnya^[10] telah dibahas tentang *Closed Loop Power Control* pada *Fractional Frequency Reuse* (FFR) dan menunjukkan bahwa penggunaan skema *power control* terbukti dapat meningkatkan performa sistem dengan menggunakan faktor kompensasi secara penuh. Pada literatur^{[4][7][15]} telah dibahas teknik FPC dengan teknik frekuensi reuse-1 dan reuse-3. Demikian penulis tertarik

untuk mengambil tema kinerja *Fractional Power Control* dalam sistem FFR. Parameter yang akan diukur dalam penelitian ini adalah *Signal-to-Noise Interference Ratio* (SINR) dan *data rate*. Pengguna ditempatkan secara random dan berada di tempat.

2. Dasar Teori dan Pemodelan Sistem

2.1 LTE (Long Term Evolution)^[3]

Long Term Evolution adalah salah satu bentuk kemajuan dalam layanan seluler 4G yang dicetuskan oleh *Third Generation Partnership Project* (3rd GPP). LTE menjanjikan kecepatan transfer data yang tinggi mencapai 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*. Teknologi ini menggunakan akses jamak OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) pada arah *downlink* dan menggunakan akses jamak SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada arah *uplink*.

2.2 Power Control^{[3][4][15]}

Sinyal yang akan digunakan pada skema *Power Control* merupakan sinyal data pada arah transmisi data, disebut sebagai *Power Uplink Shared Channel* (PUSCH). Besarnya power yang akan ditransmisikan oleh pengguna berdasarkan standar yang telah ditentukan oleh 3GPP^[3] sebagai berikut

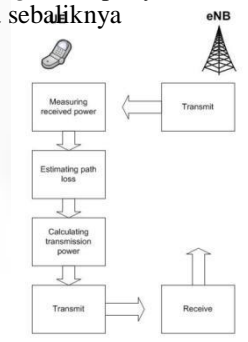
$$P_{tx} = \min \{ P_{max}, 10 \cdot \log_{10} (P_0 + \alpha \cdot P_{f,CL} + \Delta_{f,CL}) \} \text{ dBm} \tag{2.1}$$

Dimana :

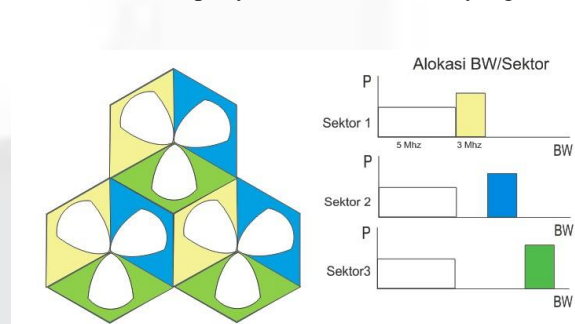
- P_{max} : power maksimum yang boleh dipancarkan oleh pengguna
- M : jumlah *resource block* yang dialokasikan pada pengguna
- P_0 : target power yang diterima pada *base station*
- α : faktor kompensasi *pathloss*
- PL : *pathloss* antara pengguna-*base station*
- $\Delta_{f,CL}$: faktor koreksi tergantung pada Transport Format
- f : *closed loop command* oleh *base station*

Sedangkan besarnya α akan menunjukkan dipakai tidaknya skema power control. Sehingga faktor kompensasi diklasifikasikan menjadi^[4] :

- $\alpha = 1$ menunjukkan full kompensasi, artinya *pathloss* yang dialami akan dikompensasikan secara penuh sebagai power yang akan dipancarkan, teknik biasa disebut sebagai power control conventional
- $\alpha = 0$ menunjukkan tanpa kompensasi, artinya power control tidak akan dijalankan sehingga pengguna memancarkan power secara penuh
- $0 < \alpha < 1$ menunjukkan *fractional power control*, dimana apabila nilai α besar mengakibatkan pengguna pada *cell edge* mempunyai kualitas sinyal yang jelek, namun mempunyai nilai interferensi yang kecil begitu pula sebaliknya



Gambar 2.1 Skema Open Loop Power Control^[8]



Gambar 2.2 Fractional Frequency Reuse^[5]

2.3 Fractional Frequency Reuse^[5]

Pada penelitian ini digunakan *Fractional Frequency Reuse*. Teknik ini digunakan dengan menggabungkan antara reuse-1 dan reuse-3. Pada *cell center* suatu site akan menggunakan reuse-1 dan reuse-3 digunakan pada *cell edge*. Keuntungan digunakanya teknik ini kapasitas lebih besar pada *cell centre* dan interferensi pada *cell edge* lebih kecil. Untuk lebih jelasnya diilustrasikan Gambar 2.2 di atas.

2.4 Model Pathloss^{[5][14]}

Pemilihan model *path loss* SUI (*Stamford University Intern*) digunakan untuk frekuensi sampai 3,5 Ghz ,tinggi *base station* antara 10m – 80m, tinggi antenna penerima antara 2m -10m , ,jari- jari sel 0,1 km sampai 8km, dan SUI model dapat digunakan pada tiga tipe *terrain* yaitu *terrain* A (*urban*), *terrain* B (*suburban*) ,dan *terrain* C (*rural*). Model SUI dapat dirumuskan sebagai berikut^[14]:

$$P_{\text{d}} = P_{\text{t}} + 10 \log \left(\frac{4\pi f d}{c} \right)^2 + \alpha_{\text{h}} + \alpha_{\text{w}} + \alpha_{\text{m}} + \alpha_{\text{t}} \quad \alpha_{\text{h}} > \alpha_{\text{w}} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.5 Pemodelan Konfigurasi Jaringan

Berikut rincian rancangan spesifikasi konfigurasi jaringan yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi Konfigurasi Jaringan

Parameter	Asumsi
Jumlah site	19 site, tiga sektor/site
Konfigurasi antena	SISO
Frekuensi kerja	2,6 Ghz
Bandwith sistem	15 Mhz
Bandwith RB	180 Khz
Bandwith subcarrier	15 Khz
Interferensi Noise/RB (IN) ^[1]	-121 dBm
Jumlah pengguna	10 pengguna
Jumlah penginterferensi tiap site	10 pengguna
Jarak cell centre ^[5]	0-300 m
Jarak cell edge ^[5]	300-1000 m
Model Pathloss ^[14]	SUI
Model Kanal	AWGN dan <i>Rayleigh Fading</i>
Cell Center ^[10]	22,3 dB
Cell Edge ^[10]	24,5 dB

Parameter ini akan diterima merata oleh seluruh pengguna. Pada penelitian ini menggunakan teknik modulasi QPSK dikarenakan teknik modulasi tersebut sering digunakan pada sistem khususnya untuk arah uplink. Sedangkan jaminan pada sistem BER adalah 10⁻³.

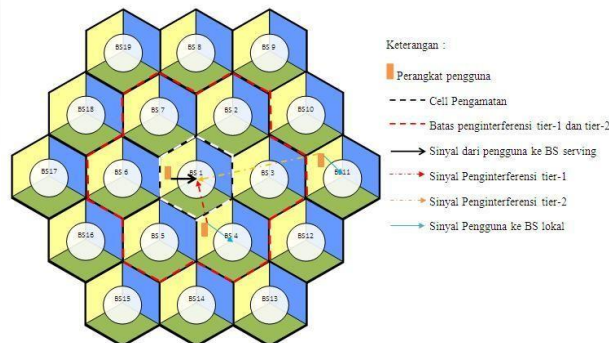
Bandwith yang digunakan pada sistem sebesar 15 Mhz dengan frekuensi kerja 2,6 Ghz. Sehingga pembagian bandwith dalam FFR sebagai berikut.

Tabel 2.2 Pembagian Bandwith FFR

Wilayah	Bandwith	Frekuensi
Cell centre	5 Mhz	2,600-2,604 Ghz
Cell edge	Sektor 1	3 Mhz
	Sektor 2	3 Mhz
	Sektor 3	3 Mhz

2.6 Pemodelan Interferensi^{[5][4]}

Interferensi merupakan sinyal gangguan yang tidak diinginkan yang mempengaruhi kualitas sinyal dari pengguna terhadap BS serving. Pada arah uplink interferensi timbul oleh adanya perangkat lain yang memakai frekuensi kerja yang sama pada site yang sama maupun site yang lain.



Gambar 2.3 Pemodelan Interferensi

2.7 Parameter Penelitian

2.7.1 Pemodelan Fractional Power Control^[1]

Tabel 2.3 Spesifikasi Power Control

Parameter	Simbol	Asumsi
Faktor kompensasi	α	0 sampai 1
Jumlah RB teralokasi	N	1 RB

Pada penelitian ini besarnya faktor kompensasi (α) dan target daya (P_0) sesuai dengan spesifikasi cell. Untuk kalkulasi dilakukan dengan formula

$$P_{tx} = \alpha \cdot P_{max} + (1 - \alpha) \cdot P_0 - 10 \cdot \log_{10} N \text{ dBm} \tag{2.3}$$

2.7.2 Pemodelan Power Transmit dan Power Receive^{[4][15]}

Power Transmit merupakan besarnya daya yang akan dipancarkan oleh pengguna ke BS. Uplink daya ini akan mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima oleh BS serving dari pengguna.

Formula (2.1) menunjukkan standar dari skema power control. Dalam penelitian ini hanya akan digunakan Open Loop Power Control. Sehingga setelah dilakukan penyederhanaan, formula menjadi sebagai berikut :

$$P_{tx} = 10 \cdot \log_{10} P_{max} + \alpha \cdot P_{tx} \text{ dBm} \tag{2.4}$$

N merupakan jumlah RB yang telah dialokasikan kepada pengguna. Dalam penelitian ini diasumsikan satu RB telah dialokasikan kepada pengguna maka dapat diabaikan. Sehingga menjadi sebagai berikut :

$$P_{tx} = P_{max} + \alpha \cdot P_{tx} \text{ dBm} \tag{2.5}$$

Maka sinyal yang akan diterima pada BS dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{rx} = P_{tx} + \alpha \cdot P_{rx} - \alpha = P_{tx} + \alpha - 1 \text{ dBm} \tag{2.6}$$

2.7.3 Pemodelan SINR^[4]

Signal-to-Interference Noise Ratio (SINR) merupakan rasio kualitas sinyal pengguna terhadap noise dan interferensi. Pada arah uplink interferensi ditimbulkan dengan oleh adanya perangkat yang memakai frekuensi kerja yang sama pada site lain

$$SINR = \frac{P_{rx}}{P_{int} + N} \tag{2.7}$$

P_{rx} , P_{int} , dan P_{tx} berturut-turut merupakan sinyal dari pengguna, target power yang diterima pada BS dan path-gain antara pengguna dan BS. Sedangkan sinyal penginterferensi dituliskan sebagai berikut

$$P_{int} = \sum_{i=1}^v P_{tx_i} \cdot G_{i,b} \tag{2.8}$$

v merupakan pengguna penginterferensi pada BS b . Sehingga SINR dapat dituliskan sebagai berikut

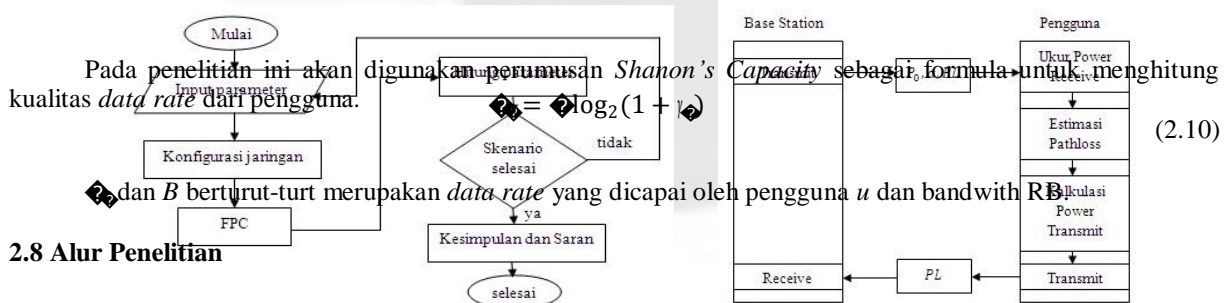
$$SINR = \frac{P_{rx}}{P_{int} + N} = \frac{P_{tx} \cdot G_{u,b}}{\sum_{i=1}^v P_{tx_i} \cdot G_{i,b} + N} \tag{2.9}$$

2.7.4 Data Rate^[16]

Pada penelitian ini akan digunakan perumusan Shannon's Capacity sebagai formula untuk menghitung kualitas data rate dari pengguna.

C dan B berturut-turt merupakan data rate yang dicapai oleh pengguna u dan bandwidth RB.

2.8 Alur Penelitian



(a) Mekanisme Penelitian

(b) Mekanisme FPC^[8]

Gambar 2.4 Diagram alir penelitian

2.9 Skenario Penelitian

Untuk penginterferensi tier-1 dan tier-2 ditempatkan secara random pada masing-masing BS dengan sepuluh pengguna. Berikut skenario yang akan dilakukan pada penelitian.

Tabel 2.4 Skenario Penelitian

Skenario	Jumlah pengguna		Jumlah penginterferensi	Parameter yang diamati
	Cell centre	Cell edge		
1	10	0	10 x 18 site	SINR dan data rate
2	0	10	10 x 18 site	SINR dan data rate
3	10		10 x 18 site	SINR dan data rate

3. Analisis dan Hasil Simulasi

3.1 Analisis Simulasi dan Pemodelan Skenario

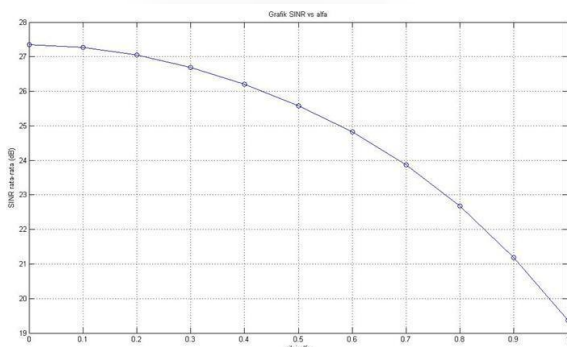
Analisis dilakukan untuk menentukan penggunaan nilai faktor kompensasi (α) yang optimal bagi sistem untuk mekanisme *Fractional Power Control* (FPC). Penelitian ini dilakukan dengan tiga skenario yaitu :

1. Skenario satu, pengguna akan ditempatkan pada *cell center* saja, sehingga didapatkan perfromansi rata-rata pada *cell center*. Parameter yang dianalisis adalah SINR dan *data rate*.
2. Skenario dua, pengguna akan ditempatkan pada *cell edge* saja, sehingga didapatkan perfromansi rata-rata pada *cell edge* saja. Parameter yang dianalisis adalah SINR dan *data rate*.
3. Skenario tiga, pengguna akan ditempatkan secara random baik dalam *cell center* maupun *cell edge*. Parameter yang dianalisis adalah SINR dan *data rate*.

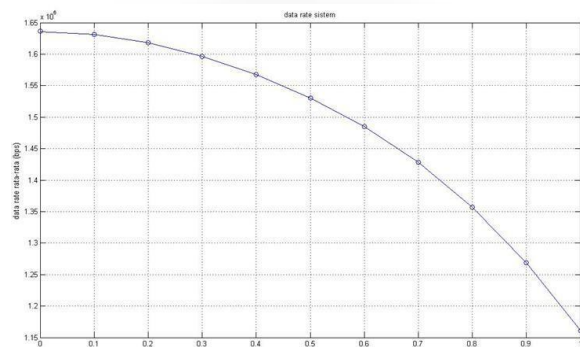
3.2 Skenario Simulasi

3.2.1 Skenario Satu

Pada skenario pertama, pengguna akan dibangkitkan secara random dalam cakupan wilayah *cell center* saja, sehingga didapatkan SINR rata-rata dan *data rate* rata-rata untuk wilayah *cell center*.



Gambar 3.1 (a) SINR rata-rata skenario satu

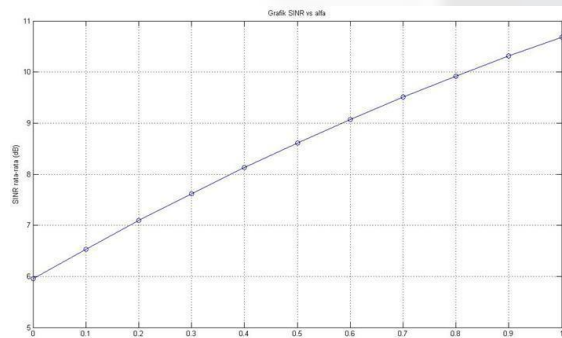


Gambar 3.1 (b) data rate rata-rata skenario satu

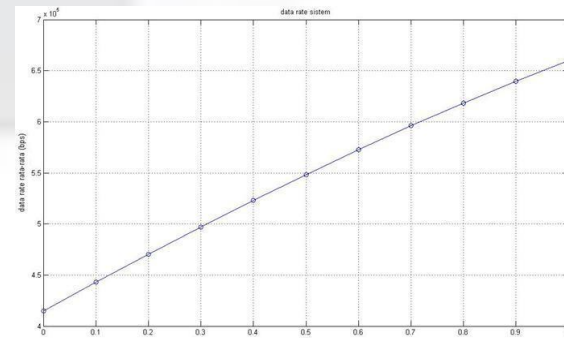
Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa pada saat pengguna ditempatkan pada wilayah *cell center* apabila tanpa digunakan power control ($\alpha=0$) maka perfromansi menjadi bagus. Sebaliknya jika digunakan power control maka perfromansi akan semakin menurun.

3.2.2 Skenario Dua

Pada skenario dua, pengguna akan dibangkitkan secara random dalam cakupan wilayah *cell edge* saja, sehingga didapatkan SINR rata-rata dan *data rate* rata-rata untuk wilayah *cell edge*.



Gambar 3.2 (a) SINR rata-rata skenario dua

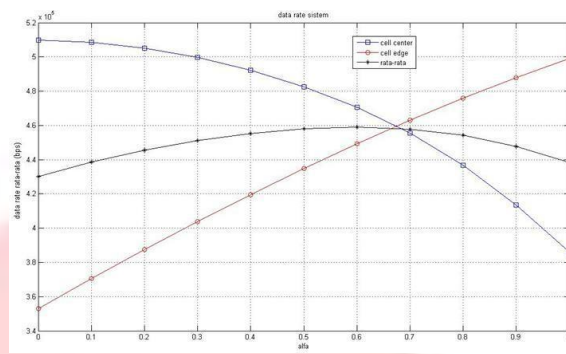
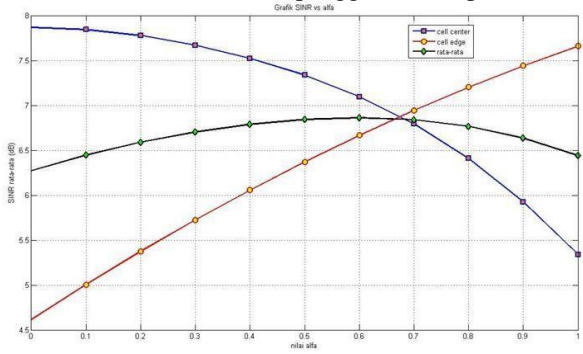


Gambar 3.2 (b) data rate rata-rata skenario dua

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa performansi pembangkitan user pada *cell edge* jika tanpa digunakan power control ($\alpha=0$) maka performansi lebih rendah jika dibandingkan menggunakan power control.

3.2.3 Skenario Tiga

Dalam skenario ini pengguna ditempatkan secara acak.



Gambar 3.3 (a) SINR rata-rata skenario tiga

Gambar 3.3 (b) data rate rata-rata skenario tiga

Pada Gambar 3.3 terlihat bahwa pengguna dalam wilayah *cell center* memiliki performansi yang bagus untuk nilai alfa rendah dan performansi pengguna berkurang jika nilai alfa tinggi. Untuk pengguna yang berada pada wilayah *cell edge*, jika digunakan nilai alfa yang rendah maka performansi kurang optimal. Maka diambil nilai rata-rata (grafik hitam) sehingga diketahui nilai alfa yang optimal pada sistem.

Tabel 3.1 Tabel SINR rata-rata pada skenario ketiga

alfa	SINR rata-rata cell center (dB)	SINR rata-rata cell edge (dB)	SINR rata-rata sistem (dB)
0	7,8679	4,6155	6,2731
0,1	7,8444	5,0036	6,4471
0,2	7,7741	5,3729	6,5898
0,3	7,6704	5,7236	6,7031
0,4	7,5243	6,0559	6,7876
0,5	7,3360	6,3698	6,8417
0,6	7,0974	6,6656	6,8615
0,7	6,7944	6,9430	6,8397
0,8	6,4094	7,2017	6,7670
0,9	5,9268	7,4414	6,6354
1,0	5,3404	7,6612	6,4412

Dari Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa performansi sistem yang paling bagus adalah pada saat digunakan alfa=0,6. Dengan ini performansi *cell edge* mengalami penurunan jika digunakan alfa yang lebih rendah dari 0,6 dan mengalami peningkatan jika digunakan alfa yang lebih tinggi dari 0,6. Sementara untuk performansi *cell center* mengalami peningkatan jika digunakan alfa yang lebih rendah dari 0,6 dan mengalami penurunan jika digunakan alfa yang lebih tinggi dari 0,6.

3.3 Analisis Daya Pancar dan Daya Terima Pada Skenario Simulasi

Tabel 3.2 Nilai Ptx rata-rata dan Prx rata-rata pada simulasi

alfa	Nilai Ptx rata-rata (dBm)	Nilai Prx rata-rata (dBm)	Nilai faktor perbaikan Ptx terhadap alfa=0 (dB)
0	23	-83,341	0
0,1	21,620	-84,719	1,379
0,2	20,241	-86,097	2,759
0,3	18,861	-87,475	4,138
0,4	17,482	-88,853	5,518
0,5	16,102	-90,231	6,897
0,6	14,580	-91,690	8,420
0,7	13,344	-92,987	9,656
0,8	11,964	-94,365	11,036
0,9	10,585	-95,743	12,414
1,0	9,205	-97,121	13,795

Dengan diaplikasikanya nilai faktor kompensasi 0,6. Maka pengguna akan memancarkan daya rata-rata sebesar $\pm 14,58$ dBm. Dengan ini pengguna dapat menghemat daya sebesar $\pm 8,42$ dBm dari daya pancar maksimal pengguna. Dengan ini maka BS akan menerima daya rata-rata sebesar $\pm 91,69$ dBm.

3.4 Analisis Hasil Keseluruhan Simulasi Skenario

Setelah mencermati data dari hasil simulasi di atas dengan mempertimbangkan nilai SINR dan *data rate* maka pencapaian paling tinggi adalah saat nilai faktor kompensasi adalah 0,6. Jika nilai faktor kompensasi $< 0,6$ maka dapat menaikkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell center* namun menurunkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell edge*. Namun apabila nilai faktor kompensasi $> 0,6$ maka dapat menaikkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell edge* namun menurunkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell center*. Dengan ini pengguna memancarkan daya sebesar $\pm 14,58$ dBm atau lebih hemat $\pm 8,42$ dB jika dibandingkan daya pancar maksimum yakni 23 dBm.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Sesuai dengan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan *Fractional Power Control* berdampak pada daya pancar pengguna. Apabila digunakan faktor kompensasi yang rendah ($\alpha=0$) maka daya pancar pengguna maksimum (± 23 dBm). Apabila digunakan faktor kompensasi tinggi ($\alpha=1$) maka daya pancar pengguna minimum ($\pm 9,45$ dBm). Jika pada digunakan *Fractional Power Control* dengan nilai faktor kompensasi 0,6 maka daya pancar pengguna adalah $\pm 14,58$ dBm. Dengan ini maka pengguna dapat menghemat daya pancar pengguna sebanyak $\pm 8,42$ dB terhadap daya maksimum pengguna (± 23 dBm).
2. Pada wilayah *cell center* apabila semakin besar nilai faktor kompensasi maka performansi semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada saat tanpa power kontrol maka pengguna dapat memancarkan daya secara maksimal. Sehingga kualitas sinyal yang diterima lebih besar daripada pada saat digunakan power kontrol.
3. Pada wilayah *cell edge* apabila semakin besar nilai faktor kompensasi maka performansi semakin meningkat. Dengan digunakannya power kontrol maka sinyal penginterferensi dapat diminimalisir sehingga sinyal dari pengguna dapat diterima lebih baik jika digunakan power kontrol.
4. Penggunaan nilai faktor kompensasi yang kecil ($\alpha=0$) atau tanpa power kontrol mengakibatkan nilai SINR pada pengguna yang berada dalam wilayah *cell center* (7,867 dB) lebih tinggi dari pada nilai SINR pada pengguna yang berada pada *cell edge* (4,6155 dB).
5. Pada saat nilai faktor kompensasi yang tinggi ($\alpha=1$) atau power kontrol secara penuh mengakibatkan nilai SINR pada pengguna yang berada dalam wilayah *cell center* (5,3404 dB) lebih rendah dari pada nilai SINR pada pengguna yang berada pada *cell edge* (7,6612 dB).
6. Nilai faktor kompensasi yang optimal pada sistem adalah 0,6. Pada saat nilai faktor kompensasi 0,6 mengakibatkan nilai SINR pada pengguna pada *cell center* adalah 7,0974 dB dan pada *cell edge* adalah 6,6656 dB. Sedangkan nilai *data rate* pada *cell center* adalah 0,4707 Mbps dan pada *cell edge* adalah 0,4492 Mbps.
7. Jika nilai faktor kompensasi $< 0,6$ maka dapat menaikkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell center* namun menurunkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell edge*. Namun apabila nilai faktor kompensasi $> 0,6$ maka dapat menaikkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell edge* namun menurunkan performansi pengguna yang berada dalam wilayah *cell center*. Maka *tradeoff* dari pemilihan nilai faktor kompensasi untuk mekanisme ini harus dijaga demi keseimbangan performansi sistem.

5.2 Saran

1. Untuk memperoleh hasil yang lebih nyata, sebaiknya dilakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan pengguna dan pergerakan pengguna.
2. Dilakukan integrasi antara mekanisme *Open Loop Power Control* dan *Closed Loop Power Control*, yang dikombinasikan dengan *frequency scheduling*.
3. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai teknik mengatasi *intercell interference* untuk arah *uplink* pada LTE.

Daftar Pustaka :

- [1] 3GPP TSGR1_51, R1-074850. "Uplink Power Control for E-UTRA – Range and Representation of P_0 ". Ericsson : Jeju, Korea. 2007.
- [2] Andi Aco, Arham. "Analisis Power Control Uplink pada Sistem WCDMA Berdasarkan SIR dan Daya Sinyal". Institut Teknologi Telkom, Bandung. 2011.
- [3] Baker, Matthew. Taufik, Issam. Sesia, Stefani.. "LTE from Theory to Practice". UK: John Wiley and Sons ltd. 2009.

- [4] Coupechoux, Marceau., Kelif, Jean-Marc. "How to Set the Fractional Power Control Compensation Factor in LTE ?". Sarnoff Symposium, 2011 34th IEEE. 2011.
- [5] Dedi Purwanto, Sigit. "Analisis Perbandingan Perencanaan Frekuensi dengan Metode Soft Frequency Reuse, Fractional Frequency Reuse, dan Reuse-1 pada Jaringan Long Term Evolution". Institut Teknologi Telkom, Bandung. 2011.
- [6] Godlewski, Philippe., Masood Maqbool., Marceau Coupechoux., Jean-Marc Kelif. "Analytical Evaluation of Various Frequency Reuse Schemes in Cellular OFDMA Networks". ICST ISBN# 978-963-9799-32-8. 2008.
- [7] Kumar, Suman and Giridhar, K. "Power Control Factor Selection in Uplink OFDMA Cellular Networks". Dept. of Electrical Engineering Indian Institute of Technology Madras. 2014.
- [8] Muhammad, Bilal. "Closed loop power control for LTE uplink". Blekinge Institute of Technology School of Engineering. 2008.
- [9] Pramudya R.M., Raka. "Analisis Kinerja Gabungan Modulasi Adaptif dan CDS pada OFDM Arah Downlink". Institut Teknologi Telkom, Bandung. 2011.
- [10] Pratiwi, Wiwi. "Analisis dan Simulasi Performansi Power Control pada FFR LTE Arah Uplink". Institut Teknologi Telkom, Bandung. 2012.
- [11] Purnomo, Agus. "Analisis Pengalokasian Sumber Daya Radio pada Sistem SC-FDMA Arah Uplink Menggunakan CDS". Institut Teknologi Telkom, Bandung. 2011.
- [12] Quintero, Nestor J.. "Advance Power Control for UTRAN LTE Uplink". Departement of Electronic System, Aalborg University. 2008.
- [13] Saquib, Nazmus, Ekram Hossain, and Dong In Kim. "Fractional Frequency Reuse for Interference Management In LTE-Advanced Hetnets". IEEE Wireless Communication. 2013.
- [14] Shahajahan, Mohammad and A. Q. M. Abdulla Hes-Shafi. "Analysis of Propagation Models for WiMAX at 3.5 GHz". Blekinge Institute of Technology. 2009.
- [15] Sonia, Mrs., Nisha Malik, Preet Kanwar Singh Rekhi, Sukhvinder Singh Malik. "Power Control Schemes in Long Term Evolution". International Journal of Engineering and Avanced Technology (IJEAT). 2014.
- [16] Rappaport, Theodore S., "Wireless Communication Principle and Practice". 1996.