

Minimalisasi Interferensi Dengan Metode *Open Loop Power Control* Pada Jaringan Femtocell Uplink FDD LTE-Advanced

Irmayani¹, Ishar Zulfika²

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi
Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jakarta

Email: ¹ir.irmayani@istn.ac.id, ²ishar.zulfika@gmail.com

Abstrak

Pada LTE-Advanced terdapat fitur femtocell atau sering disebut HeNB dalam standard 3GPP release 10 yang memiliki daya pancar rendah yang diletakkan didalam ruangan atau indoor. Disisi lain adanya HeNB menimbulkan interferensi yang terjadi karena penggunaan kanal komunikasi secara bersama antara user HeNB dan eNB pada arah uplink maupun downlink. Interferensi arah uplink terjadi antar sesama HUE (Home User Equipment) atau antara HUE dengan MUE (Mobile User Equipment). Metode open loop power control digunakan untuk meminimalisasi interferensi uplink pada sistem LTE-Advanced dengan femtocell. Metode ini dapat meminimalkan daya penginterferensi sehingga daya interferensi pada eNB dan HeNB menurun dan nilai parameter performansi sistem membaik. Dari hasil pengujian yang dilakukan, metode open loop power control efektif meminimalisasi daya penginterferensi yang menurun secara signifikan baik di eNB dan HeNB. Rata-rata nilai daya penginterferensi MUE terhadap HeNB setelah menggunakan metode open loop power control sebesar $1.73\text{E-}18$, $5.46\text{E-}18$, dan $1.29\text{E-}17$. Selanjutnya rata-rata nilai daya penginterferensi HUE terhadap HeNB sebesar $1.58\text{E-}04$, $5.26\text{E-}05$, dan $5.43\text{E-}06$. Penurunan daya penginterferensi berdampak pada parameter performansi sistem seperti SINR, throughput, efisiensi spektral, dan Eb/No. Sesudah diterapkan metode open loop power control, rentang prosentase rata-rata SINR diatas 30 dB adalah 13% - 100%. Rentang prosentase rata-rata nilai throughput diatas 2 Mbps adalah 70 - 100%. Rentang prosentase rata-rata nilai efisiensi spektral diatas 10 bps/Hz adalah 13% - 43%. Kemudian rentang prosentase rata-rata Eb/No diatas 20 dB adalah 13-100%. Secara keseluruhan terjadi peningkatan performansi sistem sebesar 45%

Kata kunci: **Femtocell, Interferensi, LTE-Advanced, Open Loop Power Control**

Abstract

LTE-Advanced have a feature femtocell or often called HeNB in standard 3GPP release 10 which has low transmit power in indoor. On the other hand, the HeNB is causing interference that occurs due to the use of communication channel together between user HeNB and eNB in the same time either in uplink or downlink direction. Interference uplink direction occurs between HUE (Home User Equipment) or between HUE and MUE (Mobile User Equipment). The open loop power control method is used to minimize uplink interference on LTE-Advanced system with femtocell. This method minimizes the power of the interference so that interference power on eNB and HeNB decreases and the value of system performance parameters improves. From the results of the tests performed, the open loop power control method effectively minimizes interference with proven power interferences that decreased significantly both in eNB and HeNB. The average value of MUE interference power to HeNB is $1.73\text{E-}18$, $5.46\text{E-}18$, and $1.29\text{E-}17$. Furthermore, the average value of HUE interference power to heNB is $1.58\text{E-}04$, $5.26\text{E-}05$, and $5.43\text{E-}06$. The decrease in interference power affects system performance such as SINR, throughput, spectral efficiency, and Eb / No. The open loop power control method was applied, the average percentage range of SINR above 30 dB was 13% - 100%. Then the average percentage range of throughput values above 2 Mbps is 70 - 100%. Then the average percentage range of spectral efficiency values above 10 bps / Hz is 13% - 43%. Then the average percentage range Eb / No above 20 dB is 13-100%. The system there is an increase in performance by 45%

Keywords: **Femtocell, Interference, LTE, LTE-Advanced, Open Loop Power Control**

1. Pendahuluan

LTE-Advanced adalah teknologi yang dikembangkan oleh 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) dari teknologi LTE. Pada LTE-Advanced terdapat fitur femtocell atau sering disebut HeNB dalam standard 3GPP release 10 yang memiliki daya pancar rendah yang diletakkan didalam ruangan atau *indoor*. Cakupan area bagi user terbatas. User yang tergabung dalam CSG (*Closed Subscriber Group*). HeNB (*Home envolved Node B*) memungkinkan HUE (*Home User Equipment*) melakukan komunikasi *uplink* dan *downlink* langsung dengan HeNB tanpa berkomunikasi terlebih dahulu dengan *evolved Node B* (eNB) (3GPP TR 36.921, 2009) (Dahlman, 2011).

Disisi lain adanya HeNB menimbulkan interferensi yang terjadi karena penggunaan kanal komunikasi secara bersama antara user HeNB dan eNB dalam waktu yang sama baik itu pada arah *uplink* maupun *downlink*. Interferensi arah *uplink* terjadi antar sesama HUE atau antara HUE dan MUE (*Mobile User Equipment*). Interferensi yang terjadi dapat menurunkan performansi sistem radio seluler (Farhan Khan, 2011).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 LTE dan LTE Advanced

Teknologi seluler mengalami beberapa evolusi mulai dari generasi pertama (1G) yang masih menggunakan sistem analog, kemudian berkembang menjadi generasi kedua (2G) yang untuk pertama kali menggunakan sistem digital. Kemudian generasi ketiga (3G) yang memiliki kemampuan data *broadband*. Generasi keempat 4G LTE (*Long Term Evolution*) yang dimaksud yaitu LTE-Advanced.

Teknologi LTE pertama kali dikembangkan oleh 3GPP kemudian dievaluasi ITU-R yang kemudian dikeluarkan dalam sebuah standar *release* 10 yang diberi nama *LTE release 10* atau *LTE-Advanced* (3GPP TR 36.921, 2009)

2.2 Femtocell

Femtocell memungkinkan pengguna

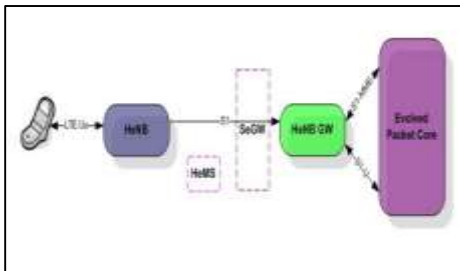
mengakses layanan suara dan *broadband* melalui koneksi internet *broadband* standar mereka sendiri. Sebuah femtocell tunggal mendukung biasanya paling banyak empat sampai delapan koneksi suara simultan (dukungan koneksi suara maksimum bersamaan pada femtocells adalah implementasi spesifik, yaitu produk yang berbeda mendukung jumlah koneksi suara simultan yang berbeda) di lingkungan dalam ruangan manapun, yang memungkinkan banyak pengguna yang berwenang untuk dapat terhubung ke Femtocell untuk memanfaatkan layanan selain suara, seperti *streaming* multimedia teks atau multimedia *real time* dll. Model langganan pengguna (layanan dan pengisian) untuk layanan femtocell mungkin berbeda sesuai dengan kebutuhan pengguna dan bergantung pada operator. Ada berbagai faktor yang mempengaruhi kecepatan peak data rate seperti teknologi *air interface* yang digunakan, langganan pengguna dan kapasitas link *broadband* (Zhang Jie, 2010)

Untuk mendukung operasi femtocell, *Home eNodeB Gateway* (HeNB GW) dan *Home eNodeB Management System* (HeMS) adalah elemen jaringan baru yang diperkenalkan dalam *release* 8. HeNB GW digunakan sebagai *gateway* untuk semua lalu lintas yang diterima dari HeNB. Dalam arsitektur *logic* femtocell yang dirancang oleh 3GPP dalam *release* 8, HeNB GW ditempatkan di tempat operator. HeMS, di sisi lain, digunakan untuk memastikan bahwa layanan yang dirasakan pengguna berkualitas tinggi dan cukup terjamin. Oleh karena itu dengan menganalisis fungsi HeMS dan HeNB GW, HeNB dianggap sebagai bagian integral dari jaringan operator (3GPP TSG RAN WG4, 2009)

Gambar 1 mengilustrasikan model penyebaran *logical* femtocell 4G di lingkungan dunia nyata. Untuk memanfaatkan layanan femtocell, pengguna akan membeli femtocell dan akan terhubung dengannya melalui akses *broadband*nya sendiri. Setelah terhubung ke akses *broadband*, HeNB selanjutnya akan terhubung ke gateway operator; Setelah itu

HeNB akan dikonfirmasi dan dikonfigurasi sesuai dengan kebijakan berlangganan pengguna. Akses Femtocell biasanya tersedia untuk sejumlah pengguna resmi yang dibatasi. Ini memastikan bahwa area cakupan yang disediakan oleh femtocell hanya dapat diakses oleh pemilik femtocell atau oleh sekelompok orang yang terpercaya.

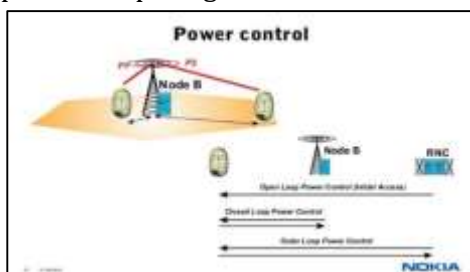
Arsitektur *logical* femtocell dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur *Logical* Femtocell

2.3 Power Control

Open loop power control bekerja dengan mengatur daya pancar user dengan menggunakan parameter dan pengukuran yang ditentukan oleh sinyal yang dikirim oleh base station. Sedangkan pada mekanisme *closed loop power control*, daya diatur pada user dengan menggunakan parameter dan pengukuran yang ditentukan oleh sinyal yang dikirim oleh base station. Kemudian user mengirimkan sinyal *feedback* ke base station tersebut yang nantinya sinyal itu digunakan sebagai parameter untuk mengoreksi daya pancar user. Mekanisme *open loop* dan *closed loop power control* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme *open loop* dan *closed loop power control*

Metode *power control* dalam penelitian ini menggunakan pendekatan mekanisme *open loop power control*, dimana

tidak ada sinyal *feedback* yang dikirimkan kembali oleh *base station* ke *user* untuk mengoreksi daya pancar *user*. Formulasi *power control* mengacu pada standar 3GPP Release 10 LTE-Advanced dengan persamaan (2.1).

$$P_{PUSCH} = \min\{P_{max}, P_{O_PUSCH} + 10\log_{10}(M_{PUSCH}) - \alpha PL_{UE-servingBS}\} \quad (2.1)$$

Dimana:

P_{PUSCH} = Daya pancar user dengan *power control* (dBm)

P_{max} = Daya pancar *maximum* user (dBm)

M_{PUSCH} = Jumlah *Resource Block* pada eNB/HeNB

P_{O_PUSCH} = Daya Transmisi berdasarkan nilai *pathloss* (dBm)

α = Faktor kompensasi *pathloss*

$PL_{UE-servingBS}$ = *Pathloss* uplink UE ke BS yang melayani (dB)

Metode *power control* yang digunakan adalah *power control* berdasarkan nilai *pathloss* antara *user* penginterferensi dan *base station* terinterferensi dengan *pathloss* antara *user* penginterferensi dengan *base station* yang melayaninya. Sementara daya transmisi (P_{O_PUSCH}) adalah daya yang diatur berdasarkan nilai *pathloss* tersebut. Ditulis dengan persamaan (2.2).

$$P_{O_PUSCH} = PL_{UE-victimBS} + Pr_{victimBS} \quad (2.2)$$

Dimana:

$PL_{UE-victimBS}$ = *Pathloss* antara UE dan BS terinterferensi (dB)

$Pr_{victimBS}$ = Daya interferensi pada BS terinterferensi (dBm)

2.4 Model Propagasi

Umumnya model propagasi radio didapatkan dengan menggunakan kombinasi perhitungan antara metode analisis dan metode empiris. Model *pathloss* yang digunakan berfungsi untuk menghitung level daya terima sebagai fungsi jarak yang nantinya nilai daya terima ini juga digunakan untuk menghitung nilai SINR. Model propagasinya adalah sebagai berikut:

a) UE-eNB (*user outdoor*)

$$PL = 15,3 + 37,6 \log_{10} R$$

(2.3)

b) UE-eNB (*user indoor*)

$$PL = 15,3 + 37,6 \log_{10} R + L_{ow}$$

(2.4)

c) UE-HeNB (*user indoor/outdoor*)

$$PL = 127 + 30 \log_{10} R/1000$$

(2.5)

Dimana:

PL = *Pathloss uplink* dalam dB

L_{ow} = Redaman dinding (dB)

R = Jarak *mobile station* (MS) ke *base station* (BS) (m)

Jarak (R) antara MS dan BS dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} & \frac{(R)}{=} \\ & \sqrt{(BSsbX - usersbX)^2 + (BSsbY - usersbY)^2} \\ & (2.6) \end{aligned}$$

Dimana:

$BSsbX$ = nilai sumbu x eNB dari titik nol (m)

$usersbX$ = nilai sumbu x dari titik nol (m)

$BSsbY$ = nilai sumbu y eNB dari titik nol (m)

$usersbY$ = nilai sumbu y dari titik nol (m)

Daya terima dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

$$Pr = Pt - PL - shadowing \quad (2.7)$$

Dimana:

Pr = Daya terima HeNB/eNB (dBm)

Pt = Daya pancar user (dBm)

PL = *Pathloss* (dB)

Shadowing = Log normal *shadowing* (dB)

2.5 Pengukuran Performansi

Evaluasi performansi sistem dilakukan dengan melihat beberapa parameter. Parameter tersebut merupakan sebuah ukuran yang terdefinisi. Parameter yang digunakan sebagai indikator penilaian performansi sistem antara lain SINR,

throughput, efisiensi spektral, serta Eb/No. Dari nilai tersebut nantinya dapat diketahui seberapa baik performansi sistem.

2.6 SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*)

Signal to Interference plus Noise Ratio adalah sebuah parameter perbandingan antara daya sinyal yang diterima dengan daya interferensi ditambah dengan daya *noise*. SINR menunjukkan kualitas link komunikasi wireless. Nilai SINR menggunakan persamaan (2.8).

$$SINR = S/(I+N) \quad (2.8)$$

Dimana:

SINR = *Signal to Interference plus Noise Ratio*

S = Daya terima (Watt)

I = Daya Interferensi (Watt)

N = *Thermal Noise* (Watt)

2.7 Throughput

Proses evaluasi selain dengan pengukuran nilai SINR dapat dilakukan dengan nilai *throughput*. *Throughput* adalah parameter yang menunjukkan keberhasilan suatu pesan dikirimkan melalui sebuah kanal komunikasi. Perhitungan *throughput* dilakukan dengan pendekatan formulasi Shannon dengan B_w adalah *bandwidth* per user.

$$C = B_w \log_2 (1 + SINR) \quad (2.9)$$

Dimana:

C = Kapasitas (bps)

B_w = *Bandwidth* (Hz)

SINR = *Signal to Interference plus Noise Ratio*

2.8 Efisiensi Spektral

Efisiensi spektral adalah parameter yang kaitannya dengan *throughput* per MHz spektrum pada tiap sel. Parameter ini menunjukkan seberapa banyak informasi yang dapat dilewatkan dalam bandwidth tertentu. Rumus 2.10 digunakan menghitung kapasitas Shannon.

$$\rho = \log_2 (1 + \text{SINR}) \quad (2.10)$$

Dimana:

ρ = Efisiensi Spektral (bps/Hz)

SINR = *Signal to Interference plus Noise Ratio*

2.9 Eb/No

Eb/No (*Energy per bit to Noise power spectral density ratio*) adalah parameter penting dalam komunikasi digital dan transmisi data. Eb/No adalah *Signal to Noise Ratio* (SNR) ternormalisasi, yang juga dinamakan SNR per bit.

$$\text{Eb/No} = \text{Bw} \times \text{SINR/Rate} \quad (2.11)$$

Dimana:

Eb/No = Energi bit per *noise*

Bw = *Bandwith per user* (Hz)

Rate = Data rate (bps)

3. Perancangan Sistem

3.1 Sistem LTE-Advanced

3.1.1 Sistem LTE-Advanced tanpa

Metode Open Loop Power Control

Pada sistem ini, simulasi dilakukan dengan cara memodelkan sistem berdasarkan 2 skenario interferensi yang berbeda. Skenario interferensi dilakukan pada arah *uplink*. Dalam komunikasi *uplink*, yang menjadi korban atau *victim* yaitu BS (*Base Station*). Interferensi *uplink* yang timbul antara femtocell yang tersebar di *macrocell* ada dua macam yaitu interferensi antara user femtocell pada skenario interferensi 2 dan antara user femtocell dengan user *macrocell*. Kedua interferensi ini terjadi karena *frequency subcarrier* yang digunakan adalah sama atau *co-channel interference*. User penginterferensi menggunakan daya pancar yang sama kuat dengan daya pancar user akses sehingga daya terima pada *base station* (BS) bercampur dengan daya penginterferensi. Hal ini menyebabkan degradasi atau penurunan performa sistem.

Skenario interferensi yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Skenario Interferensi

Skenario Interferensi i	Penginterferensi i	Korban (Victim)	Arah
1	MUE	HeNB	<i>Uplink</i>
2	HUE	HeNB	<i>Uplink</i>

Pada skenario interferensi 1, MUE menjadi *user* penginterferensi bagi HUE. MUE memberikan daya penginterferensi bagi HUE. Akibatnya penerimaan daya pada HeNB dari MUE lebih baik dibandingkan penerimaan daya HeNB yang berasal dari HeNB.

Pada skenario interferensi 2, terjadi interferensi antar sesama HUE. Sehingga penerimaan daya HeNB dari HUE penginterferensi lebih baik dari penerimaan daya HUE yang dilayani HeNB tersebut.

Ada beberapa tahapan yang dilakukan pada simulasi tanpa metode *open loop power control*:

Tahapan pertama yaitu pembangkitan user secara *random uniform*. User yang dibangkitkan secara acak seragam yang terhubung dengan eNB dan HeNB

Tahapan kedua perhitungan jarak user dengan setiap eNB dan HeNB. Untuk menghitung jarak antara MS dan BS dapat dilihat pada persamaan 2.6. Setelah ditemukan jaraknya maka tahapan selanjutnya mencari nilai *pathloss*, disini menggunakan *pathloss* daerah urban pada persamaan 2.3, 2.4, dan 2.5.

Tahapan selanjutnya perhitungan nilai daya terima berdasarkan nilai jarak dan *pathloss* yang telah didapatkan. Terakhir, perhitungan nilai parameter SINR, *throughput*, efisiensi spektral, dan Eb/No dengan menggunakan persamaan 2.8, 2.9, 2.10, dan 2.11.

3.1.2 Sistem LTE-Advanced dengan

Metode Open Loop Power Control

Pada sistem ini menggunakan tahapan yang sama pada sistem LTE-Advanced tanpa metode *open loop power control*. Tetapi yang membedakan diterapkan metode *open loop power control* pada perhitungan daya

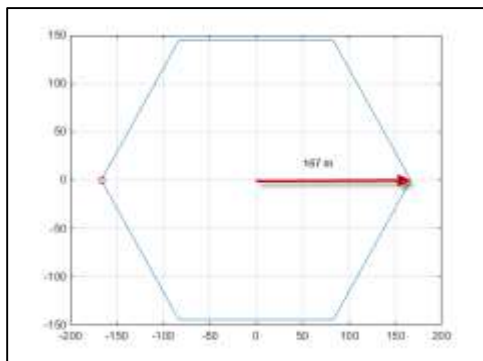
penginterferensi. Metode ini diterapkan pada MUE dan HUE penginterferensi. Sistem yang diukur pada *base station victim* HeNB pada skenario interferensi 1 dan 2.

Pada awal simulasi seluruh *user* menggunakan *power* pancar *maximum* sebesar 23 dBm. Pada skenario interferensi 1 berasal MUE, skenario interferensi 2 berasal dari HUE.

Metode ini merujuk pada standar 3GPP release 10 LTE-Advanced tanpa menggunakan teknik *scheduling user*. Untuk perhitungan metode *open loop power control* menggunakan persamaan 2.1. Pada persamaan tersebut *user* menjadi sumber interferensi bagi HeNB memiliki daya pancar minimum dari daya pancar maximum sebesar 23 dBm. Daya pancar ini digunakan untuk perhitungan ulang daya terima pada HeNB setelah diterapkan metode *open loop power control*.

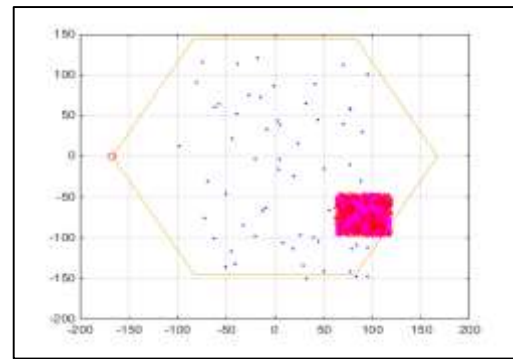
3.2 Arsitektur Sistem

Pada proses pembentukan arsitektur sistem ada beberapa tahapan dengan bantuan software MATLAB yaitu pembentukan sel hexagonal, penentuan koordinat eNB, dan pembangkitan MUE, HUE, dan HeNB secara acak atau *random*.

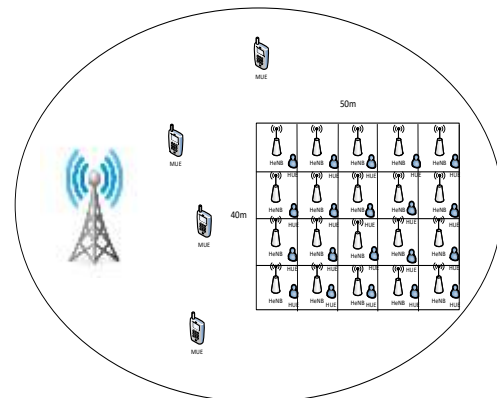


Gambar 3. Output Sel Hexagonal

Hasil running *script* menghasilkan keluaran atau output seperti gambar 3 berupa sel hexagonal dengan jari-jari 167 m sesuai dengan perancangan yang diinginkan



Gambar 4. Sebaran MUE, HUE, dan HeNB



Gambar 5. Arsitektur Pemodelan Sistem

3.3 Parameter Sistem

Parameter yang digunakan pada simulasi ini adalah sebagai berikut:

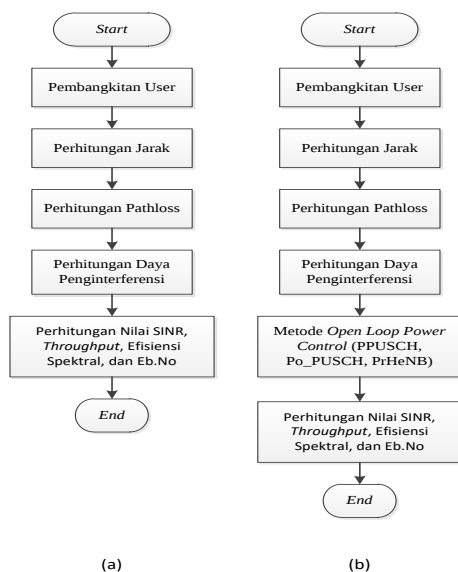
1. Arah komunikasi uplink
2. Dalam satu sel simulasi terdiri dari eNB, HeNB, HUE, dan MUE. HUE dan HeNB berada di dalam sebuah model gedung yang tersebar secara random dan berada di tepi sel.
3. Variasi user penginterferensi untuk HUE dan MUE yaitu 20, 15, dan 10 user
4. Gedung yang dimodelkan dengan ukuran (50 x 40) m
5. Satu user menggunakan bandwidth sebesar 200 kHz
6. Daya pancar maximum user adalah 23 dBm
7. Pada Matlab menggunakan metode iterasi. Proses iterasi sebanyak 5 kali
8. Standard deviasi shadowing loss 8 dB
9. Radius sel 166.67 m
10. Jumlah sel 1
11. Sel menggunakan sel hexagonal
12. Suhu kejadian 27°C

13. $\alpha = 1$
14. Penetrasi loss dinding luar 20 dB
15. Parameter performansi sistem yang diukur adalah SINR, throughput, efisiensi spektral, dan Eb/No.

3.4 Simulasi Sistem

3.4.1 Diagram alir Simulasi Sistem

Pada gambar 6 (a) disajikan *flowchart* simulasi sistem tanpa metode *open loop power control* pada daya pancar user penginterferensi. Dari *flowchart* tersebut dilakukan 5 tahapan yaitu pembangkitan user, perhitungan jarak, perhitungan *pathloss*, perhitungan daya terima, dan perhitungan nilai SINR, *throughput*, efisiensi spektral, dan Eb/No. Sedangkan pada 6 (b) *flowchart* simulasi sistem dengan metode *open loop power control* pada daya pancar user penginterferensi akan dijelaskan pada subbab 3.5.2, dan 3.5.3.



Gambar 6. (a) Diagram alir Sistem Tanpa Metode *Open Loop Power Control* dan (b) *Flowchart* Simulasi Sistem Dengan Metode *Open Loop Power Control*

4.1 Hasil Simulasi Daya Penginterferensi dan Parameter Performansi Pada Skenario Interferensi 1

4.1.1 Analisis Daya Penginterferensi

Pada skenario interferensi 1 ini, analisa parameter performansi berbeda

dengan skenario interferensi 1 yang dilakukan di eNB tetapi pada skenario ini dilakukan di HeNB sebagai *base station* terinterferensi. Sumber interferensi berasal dari MUE di luar gedung

Pada 20 user penginterferensi, sebelum menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 8.47E-10 dan paling tinggi yaitu 1.82E-08 sedangkan untuk yang menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 5.32E-20 dan yang paling tinggi 1.60E-17.

Tabel 2 Nilai Pr HeNB dari MUE (daya interferensi) sebelum dan sesudah menggunakan metode *open loop power control* (Skenario Interferensi 1, 20 MUE)

Tabel 2. Nilai Pr HeNB dari MUE (1-20)

Pr HeNB (Sebelum)			
MUE ke	Pr (dBW)	MUE ke	Pr (dBW)
1	3.62E-09	11	9.25E-09
2	3.58E-09	12	6.36E-09
3	8.47E-10	13	2.99E-09
4	1.03E-08	14	1.37E-09
5	1.01E-09	15	1.92E-09
6	1.13E-09	16	1.06E-08
7	1.79E-09	17	1.82E-08
8	2.26E-09	18	2.35E-09
9	5.76E-09	19	3.73E-09
10	1.33E-08	20	2.28E-09
Pr HeNB (Sesudah)			
MUE ke	Pr (dBW)	MUE ke	Pr (dBW)
1	1.47E-18	11	5.25E-19
2	3.70E-18	12	1.35E-18
3	5.32E-20	13	1.60E-17
4	1.72E-19	14	3.65E-19
5	7.90E-19	15	1.51E-18
6	2.63E-19	16	3.58E-18
7	3.13E-19	17	3.96E-19
8	4.55E-19	18	2.07E-19
9	4.98E-19	19	7.63E-20
10	1.87E-19	20	2.75E-18

Tabel 3 Nilai Pr HeNB dari MUE (daya interferensi) sebelum dan sesudah menggunakan metode *open loop power control* (Skenario Interferensi 1, 15 MUE)

Tabel 3. Nilai Pr HeNB dari MUE (1-15)

Pr HeNB (Sebelum)			
MUE ke	Pr (dBW)	MUE ke	Pr (dBW)
1	5.23E-09	9	1.17E-08
2	5.20E-09	10	1.01E-06
3	1.71E-08	11	4.53E-09
4	8.09E-09	12	1.52E-08
5	1.86E-09	13	1.48E-09
6	1.24E-08	14	2.98E-08
7	8.43E-09	15	1.31E-08
8	2.45E-09		
Pr HeNB (Sesudah)			
MUE ke	Pr (dBW)	MUE ke	Pr (dBW)
1	4.81E-19	9	1.32E-18
2	8.69E-19	10	3.85E-17
3	2.08E-18	11	5.11E-19
4	4.07E-18	12	1.20E-17
5	1.72E-19	13	2.02E-19
6	2.16E-19	14	3.21E-18
7	6.72E-19	15	1.70E-17
8	6.21E-19		

Pada 15 user penginterferensi, sebelum menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 1.48E-09 dan paling tinggi yaitu 1.82E-08 sedangkan setelah menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 2.02E-19 dan yang paling tinggi 3.85E-17.

Tabel 4 Nilai Pr HeNB dari MUE (daya interferensi) sebelum dan sesudah menggunakan metode *open loop power control* (Skenario Interferensi 1, 10 MUE)

Tabel 4. Nilai Pr HeNB dari MUE (1-10)

Pr HeNB (Sebelum)			
MUE ke	Pr (dBW)	MUE ke	Pr (dBW)
1	1.25E-07	6	4.97E-09
2	1.15E-08	7	7.59E-09
3	4.02E-09	8	8.17E-07
4	3.53E-08	9	2.46E-08
5	4.66E-08	10	2.70E-09

Pr HeNB (Sesudah)			
MUE ke	Pr (dBW)	MUE ke	Pr (dBW)
1	1.61E-17	6	1.23E-18
2	3.56E-18	7	4.64E-19
3	7.14E-19	8	7.18E-17
4	2.44E-18	9	5.11E-18
5	1.23E-18	10	2.62E-17

Pada 10 user penginterferensi, sebelum menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 2.70E-09 dan paling tinggi yaitu 8.17E-07 sedangkan setelah menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 4.64E-19 dan yang paling tinggi 7.18E-17.

Berdasarkan hasil tersebut nilai daya penginterferensi mengalami penurunan secara signifikan setelah diterapkan metode *open loop power control*.

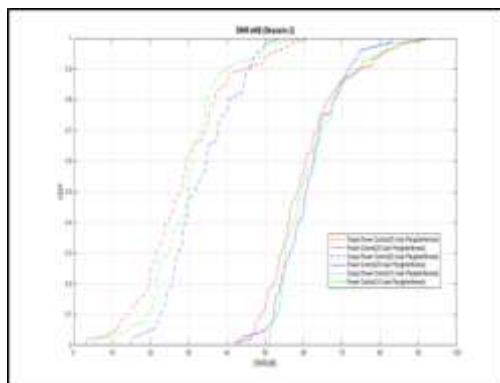
4.1.2 Analisa Nilai SINR

Pada bagian ini akan menganalisa nilai SINR sebelum dan sesudah diterapkan metode *open loop power control*. Untuk mempermudah menganalisa, gambar ditampilkan dalam bentuk grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF) pada gambar 7.

Gambar 7 menjelaskan grafik SINR pada skenario interferensi 1, didapatkan enam grafik SINR dengan tiga warna yang berbeda dimana warna tersebut merepresentasikan jumlah user penginterferensi yang disimulasikan. Garis putus-putus pada grafik merepresentasikan sistem sebelum diterapkannya metode *open loop power control*. Sedangkan garis penuh adalah grafik sistem setelah diterapkannya metode *open loop power control*. Secara umum dapat dilihat bahwa SINR sistem LTE-Advanced dengan menggunakan *open loop power control* lebih baik dibandingkan sistem yang tidak menggunakan metode *open loop power control*. Pada simulasi ini, pengukuran dilakukan disisi HeNB dengan asumsi nilai threshold SINR sebesar 3 dB.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa SINR sistem pada skema user penginterferensi 20, 15, dan 10 sebelum diterapkannya metode *open loop power*

control memperlihatkan pada skema 20 user penginterferensi didapatkan nilai SINR paling tinggi yakni 62.02 dB, pada skema 15 user penginterferensi didapatkan nilai SINR tertinggi 38.75 dB, dan pada skema 10 user SINR tertinggi mencapai 51.66 dB. Selanjutnya hasil simulasi pada sistem yang menggunakan metode *open loop power control* menunjukkan bahwa pada skema 20 user penginterferensi, nilai SINR tertinggi 93.84 dB, pada skema 15 user nilai SINR tertinggi adalah 68.19 dB, dan pada skema 10 user nilai SINR tertinggi mencapai 82.02 dB. Jika dilihat dari segi probabilitasnya maka nilai SINR sistem pada masing-masing variasi user sebelum diterapkannya metode *open loop power control* pada masing-masing skema user penginterferensi 20, 15, dan 10 user, maka pada saat probabilitas 0.2 nilai SINR sistem berturut-turut adalah kurang dari atau sama dengan 19.63 dB, 22.48 dB, dan 15,09 dB. Sedangkan pada saat diterapkannya metode *open loop power control* nilai SINR berturut-turut menjadi kurang atau sama dengan 52.33 dB, 51.6 dB, dan 51.48 dB. Semua nilai SINR pada masing-masing skema user setelah penerapan *open loop power control* berada diatas level 50 dB.

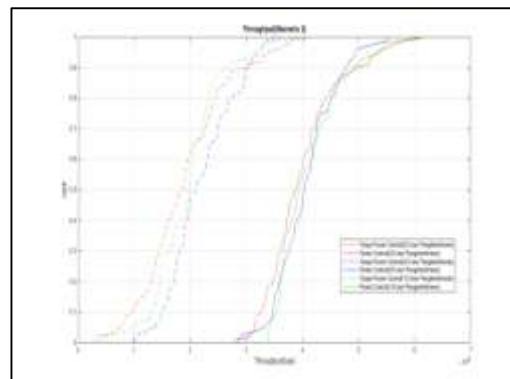


Gambar 7. Grafik Nilai SINR Skenario Interferensi 1

Dari grafik gambar 7 dapat disimpulkan bahwa SINR sistem mengalami peningkatan yang sangat signifikan setelah diterapkannya *open loop power control* pada user penginterferensi

4.1.3 Analisa Nilai *Throughput*

Dari hasil simulasi didapatkan enam grafik *throughput* sama halnya seperti pada grafik SINR pada gambar 8 nilai *throughput* ini didapatkan secara matematis dengan menggunakan formulasi Shannon seperti yang tertulis pada persamaan 2.10. Formulasi ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kapasitas sistem dalam tiap *bandwith user*. Sementara nilai *throughput* sendiri adalah parameter yang menunjukkan kesuksesan pengiriman pesan melalui sebuah kanal komunikasi. Aspek utama parameter ini adalah ketersediaan *bandwith* yang cukup untuk melayani satu pengguna. Grafik hasil simulasi beserta analisis *throughput* sistem dengan diterapkan atau tidak diterapkan metode *open loop power control* pada skenario 1 yang disajikan pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Nilai *Throughput* Skenario Interferensi 1

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa pada saat CDF = 0.5 sebelum diterapkan metode *open loop power control*, nilai *throughput* pada skema 20 user penginterferensi memiliki nilai *throughput* sebesar 1.86 Mbps. Pada skema 15 user memiliki nilai *throughput* sebesar 2.11 Mbps. Sedangkan pada skema 10 user penginterferensi memiliki nilai *throughput* sebesar 1.44 Mbps.

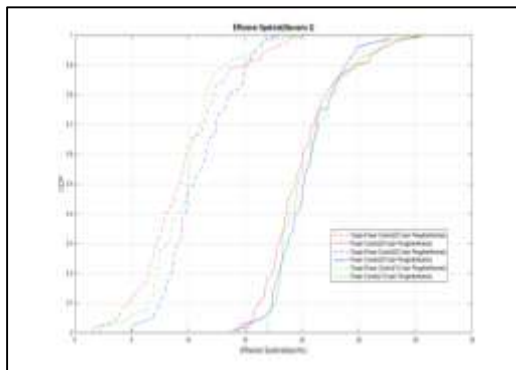
Setelah diterapkan metode *open loop power control*, pada skema 20 user penginterferensi nilai *throughput* sebesar 3.87 Mbps, pada skema 15 user nilai *throughput* sebesar 4.04 Mbps, dan pada

skema 10 user nilai *throughput* sebesar 3.82 Mbps.

Dari hal tersebut dapat disimpulkan *throughput user* setelah diterapkan metode *open loop power control* lebih baik dibandingkan *throughput user* sebelum diterapkan metode *open loop power control*.

4.1.4 Analisa Nilai Efisiensi Spektral

Nilai efisiensi spektral pada skenario 1 didapatkan secara matematis dengan Formulasi Shannon. Efisiensi spektral menunjukkan seberapa banyak informasi yang dapat dilewatkan sistem melalui *bandwith* tertentu. Efisiensi spektral pada skenario 1 diukur pada sisi HeNB sehingga pada grafik ini dapat dilihat tingkat efisiensi *bandwith* sistem sebelum diterapkan metode *open loop power control* dibandingkan dengan sistem yang menerapkan metode *open loop power control*.



Gambar 9. Grafik Nilai Efisiensi Spektral Skenario Interferensi 1

Pada gambar 9 menunjukkan bahwa secara umum efisiensi spektral setelah penerapan metode *open loop power control* lebih baik dibandingkan sebelum diterapkannya metode *open loop power control*.

Sebelum penerapan metode *open loop power control* efisiensi spektral saat kurva CDF = 0.5, pada skema 20 user penginterferensi nilai efisiensi spektral sebesar 9.3 bps/Hz, pada skema 15 user nilai efisiensi spektral sebesar 10.57 bps/Hz, dan pada skema 10 user nilai efisiensi spektral sebesar 7.22 bps/Hz.

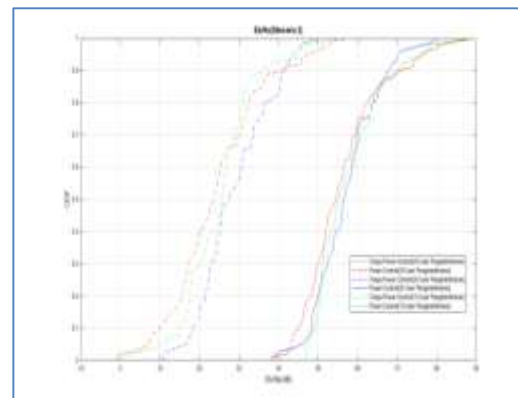
Setelah penerapan metode *open loop power control*, pada skema 20 user penginterferensi nilai efisiensi spektral

sebesar 19.37 bps/Hz, pada skema 15 user nilai efisiensi spektral sebesar 20.18 bps/Hz, dan pada skema 10 user nilai efisiensi spektral sebesar 19.1 bps/Hz.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan spektral dengan penerapan metode *open loop power control* lebih efisien dibandingkan sebelum penerapan metode *open loop power control*.

4.1.5 Analisa Nilai Eb/No

Nilai Eb/No pada gambar 10 berupa grafik dengan menggunakan persamaan 2.11.



Gambar 10. Grafik Nilai Eb/No Skenario Interferensi 1

Sebelum diterapkan metode *open loop power control*, pada CDF = 0.5, pada skema 20 user penginterferensi nilai Eb/No sebesar 23.91 dB, pada skema 15 user nilai Eb/No sebesar 27.74 dB, dan pada skema 10 user nilai Eb/No sebesar 17.62 dB.

Setelah diterapkan metode *open loop power control*, pada CDF = 0.5, pada skema 20 user penginterferensi nilai Eb/No sebesar 54.23 dB, pada skema 15 user nilai Eb/No sebesar 56.68 dB, dan pada skema 10 user nilai Eb/No sebesar 53.44 dB.

Hal diatas menunjukkan setelah diterapkan metode *open loop power control* lebih baik daripada sebelum diterapkan metode *open loop power control*.

4.2 Hasil Simulasi Daya Penginterferensi dan Parameter Performansi Pada Skenario Interferensi 2

Pada bagian ini akan dibahas perbandingan daya interferensi, SINR, *throughput*, efisiensi spektral, dan Eb/No pada skenario interferensi 2. Pengukuran

dilakukan di HeNB sebagai *base station* terinterferensi.

4.2.1 Analisa Daya Penginterferensi

Pada skenario interferensi 2 ini, analisa parameter performansi dilakukan HeNB sebagai *base station* terinterferensi. Sumber interferensi berasal dari HUE di dalam gedung. Untuk nilai daya penginterferensi ditunjukkan tabel 5. Tabel 5 merupakan Nilai Pr HeNB dari HUE (daya interferensi) sebelum dan sesudah menggunakan metode *open loop power control* (Skenario Interferensi 2, 20 HUE)

Tabel 5. Nilai Pr HeNB dari HUE (2-20)

Pr HeNB (Sebelum)			
HUE ke	Pr (dBW)	HUE ke	Pr (dBW)
1	1.05E-05	11	2.70E-06
2	2.93E-04	12	7.31E-05
3	9.15E-06	13	1.06E-04
4	3.74E-06	14	1.96E-06
5	5.22E-06	15	4.15E-06
6	3.62E-06	16	7.98E-04
7	5.79E-06	17	1.84E-05
8	4.44E-05	18	3.96E-06
9	7.29E-06	19	7.15E-06
10	6.35E-06	20	4.32E-06
Pr HeNB (Sesudah)			
HUE ke	Pr (dBW)	HUE ke	Pr (dBW)
1	1.11E-16	11	2.99E-06
2	3.18E-04	12	2.80E-04
3	8.64E-06	13	4.55E-04
4	2.11E-06	14	3.11E-06
5	4.83E-06	15	7.75E-07
6	1.81E-05	16	1.82E-03
7	8.59E-07	17	4.57E-06
8	2.05E-04	18	4.40E-06
9	1.26E-05	19	2.23E-06
10	1.31E-05	20	4.32E-06

Pada 20 user penginterferensi, sebelum menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 1.96E-06 dan paling tinggi yaitu 7.98E-04 sedangkan sesudah metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 1.11E-16 dan yang paling tinggi 4.55E-04.

Tabel 6 merupakan nilai Pr HeNB dari HUE (daya interferensi) sebelum dan sesudah menggunakan metode *open loop power control* (Skenario Interferensi 2, 15 HUE)

Tabel 6. Nilai Pr HeNB dari HUE (2-15)

Pr HeNB (Sebelum)			
HUE ke	Pr (dBW)	HUE ke	Pr (dBW)
1	1.01E-05	9	2.45E-06
2	7.52E-06	10	1.63E-06
3	1.39E-05	11	1.68E-06
4	5.66E-04	12	1.25E-07
5	5.71E-06	13	5.08E-05
6	6.29E-06	14	1.41E-05
7	2.82E-06	15	4.29E-06
8	4.33E-06		
Pr HeNB (Sesudah)			
HUE ke	Pr (dBW)	HUE ke	Pr (dBW)
1	3.15E-17	9	7.08E-06
2	1.23E-12	10	2.70E-06
3	1.67E-06	11	3.62E-06
4	7.16E-04	12	1.74E-07
5	5.50E-06	13	3.13E-05
6	3.06E-06	14	2.93E-06
7	2.92E-06	15	4.29E-06
8	6.66E-06		

Pada 15 user penginterferensi, sebelum menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 1.63E-06 dan paling tinggi yaitu 5.66E-04 sedangkan sesudah metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 3.15E-17 dan yang paling tinggi 7.16E-04.

Pada Tabel 7 merupakan Nilai Pr HeNB dari HUE (daya interferensi) sebelum dan sesudah menggunakan metode *open loop power control* (Skenario Interferensi 2, 10 HUE)

Tabel 7. Nilai Pr HeNB dari HUE (2-10)

Pr HeNB (Sebelum)			
HUE ke	Pr (dBW)	HUE ke	Pr (dBW)
1	7.37E-06	6	7.35E-06
2	1.72E-05	7	1.04E-06
3	6.45E-05	8	1.09E-05
4	1.60E-06	9	7.50E-06
5	2.79E-06	10	2.34E-06
Pr HeNB (Sesudah)			
HUE ke	Pr (dBW)	HUE ke	Pr (dBW)
1	2.96E-18	6	8.77E-07
2	8.92E-09	7	5.48E-07
3	2.01E-05	8	6.20E-06
4	9.41E-07	9	2.09E-05
5	4.81E-07	10	4.27E-06

Pada 10 user penginterferensi, sebelum menggunakan metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 1.04E-06 dan paling tinggi yaitu 6.45E-05 sedangkan sesudah metode *open loop power control* nilai daya penginterferensi paling rendah 2.96E-18 dan yang paling tinggi 2.09E-05.

Berdasarkan hasil tersebut nilai daya penginterferensi mengalami penurunan setelah diterapkan metode *open loop power control*. Tetapi penurunan daya penginterferensi sangat kecil atau tidak signifikan. Berbeda sekali dengan daya penginterferensi pada skenario interferensi 1.

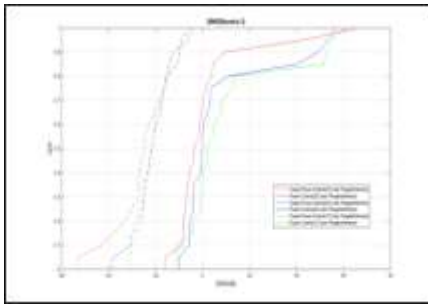
4.2.2 Analisa Nilai SINR

Pada bagian ini akan menganalisa nilai SINR sebelum dan sesudah diterapkan metode *open loop power control*. Untuk mempermudah menganalisa, gambar ditampilkan dalam bentuk grafik *Cumulative Distribution Function* (CDF) pada gambar 11.

Gambar 11 menunjukkan grafik SINR sistem pada skenario 2, didapatkan enam grafik SINR dengan tiga warna yang berbeda dimana warna tersebut merepresentasikan jumlah user penginterferensi yang disimulasikan.

Garis putus-putus pada grafik merepresentasikan sistem sebelum diterapkannya metode *open loop power control*. Sedangkan garis penuh adalah grafik sistem setelah diterapkannya metode *open loop power control*. Secara umum dapat dilihat bahwa SINR sistem LTE-Advanced dengan menggunakan *open loop power control* lebih baik dibandingkan sistem yang tidak menggunakan metode *open loop power control*.

Pada simulasi ini, pengukuran dilakukan disisi HeNB dengan asumsi nilai threshold SINR sebesar 3 dB. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa SINR sistem pada skema user penginterferensi 20, 15, dan 10 sebelum diterapkannya metode *open loop power control* memperlihatkan pada skema 20 user penginterferensi didapatkan nilai SINR paling tinggi yakni -3.71 dB, pada skema 15 user penginterferensi didapatkan nilai SINR tertinggi -5.04 dB, dan pada skema 10 user SINR tertinggi mencapai -4.38 dB. Selanjutnya hasil simulasi pada sistem yang menggunakan metode *open loop power control* menunjukkan bahwa pada skema 20 user penginterferensi, nilai SINR tertinggi 65.92 dB, pada skema 15 user nilai SINR tertinggi adalah 56.30 dB, dan pada skema 10 user nilai SINR tertinggi mencapai 60.79 dB. Jika dilihat dari segi probabilitasnya maka nilai SINR sistem pada masing-masing variasi user sebelum diterapkannya metode *open loop power control* pada masing-masing skema user penginterferensi 20, 15, dan 10 user, maka pada saat probabilitas 0.2 nilai SINR sistem berturut-turut adalah kurang dari atau sama dengan -33.2 dB, -27.44 dB, dan -25.09 dB. Sedangkan pada saat diterapkannya metode *open loop power control* nilai SINR berturut-turut menjadi kurang atau sama dengan -7.97 dB, -5.32 dB, dan -3.97 dB. Semua nilai SINR pada masing-masing skema user setelah penerapan *open loop power control* mengalami perbaikan signifikan setelah diterapkan metode *open loop power control*.

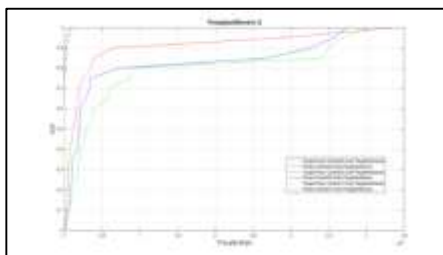


Gambar 11. Nilai SINR Skenario Interferensi 2

4.2.3 Analisa Nilai Throughput

Dari hasil simulasi didapatkan enam grafik *throughput* sama halnya seperti pada grafik SINR pada gambar 11 nilai *throughput* ini didapatkan secara matematis dengan menggunakan formulasi Shannon seperti yang tertulis pada persamaan 2.9. Formulasi ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kapasitas sistem dalam tiap *bandwidth user*. Sementara nilai *throughput* sendiri adalah parameter yang menunjukkan kesuksesan pengiriman pesan melalui sebuah kanal komunikasi. Aspek utama parameter ini adalah ketersediaan *bandwidth* yang cukup untuk melayani satu pengguna. Grafik hasil simulasi beserta analisis *throughput* sistem dengan diterapkan atau tidak diterapkan metode *open loop power control* pada skenario 2 yang disajikan pada gambar 12. Pada simulasi skenario ini *bandwidth* per *user* yang digunakan 200 kHz.

Secara umum dapat dilihat bahwa performa sistem jika diukur dari parameter *throughput* dengan menggunakan metode *open loop power control* jauh lebih baik dibandingkan sistem yang tidak diterapkam metode *open loop power control*.



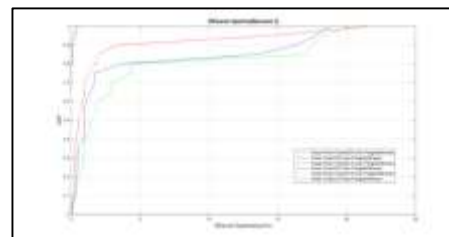
Gambar 12. Grafik Nilai Throughput Skenario Interferensi 2

Pada grafik gambar 12 dapat dilihat bahwa pada saat CDF = 1 sebelum diterapkan metode *open loop power control*, nilai *throughput* pada skema 20 user penginterferensi memiliki nilai *throughput* sebesar 0.102 Mbps. Pada skema 15 user memiliki nilai *throughput* sebesar 0.0438 Mbps. Sedangkan pada skema 10 user penginterferensi memiliki nilai *throughput* sebesar 0.0898 Mbps.

Setelah diterapkan metode *open loop power control*, pada skema 20 user penginterferensi nilai *throughput* sebesar 4.38 Mbps, pada skema 15 user nilai *throughput* sebesar 3.74 Mbps, dan pada skema 10 user nilai *throughput* sebesar 4.04 Mbps.

4.2.4 Analisa Nilai Efisiensi Spektral

Nilai efisiensi spektral pada skenario 2 didapatkan secara matematis dengan Formulasi Shannon. Efisiensi spektral menunjukkan seberapa banyak informasi yang dapat dilewatkan sistem melalui *bandwidth* tertentu. Efisiensi spektral pada skenario 2 diukur pada sisi HeNB sehingga pada grafik ini dapat dilihat tingkat efisiensi *bandwidth* sistem sebelum diterapkan metode *open loop power control* dibandingkan dengan sistem yang menerapkan metode *open loop power control*.



Gambar 13. Grafik Nilai Efisiensi Spektral Skenario Interferensi 2

Pada grafik gambar 13 dapat dilihat bahwa secara umum efisiensi spektral setelah penerapan metode *open loop power control* lebih baik dibandingkan sebelum diterapkannya metode *open loop power control*.

Sebelum penerapan metode *open loop power control* efisiensi spektral saat kurva CDF = 1, pada skema 20 user penginterferensi nilai efisiensi spektral

sebesar 0.52 bps/Hz, pada skema 15 user nilai efisiensi spektral sebesar 0.39 bps/Hz, dan pada skema 10 user nilai efisiensi spektral sebesar 0.45 bps/Hz.

Setelah penerapan metode *open loop power control*, pada skema 20 user penginterferensi nilai efisiensi spektral sebesar 21.9 bps/Hz, pada skema 15 user nilai efisiensi spektral sebesar 18.7 bps/Hz, dan pada skema 10 user nilai efisiensi spektral sebesar 20.19 bps/Hz. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan spektral dengan penerapan metode *open loop power control* lebih efisien dibandingkan sebelum penerapan metode *open loop power control*.

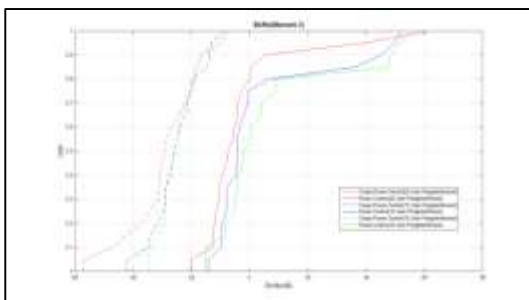
4.2.5 Analisa Nilai Eb/No

Pada gambar 14 menunjukkan grafik Nilai Eb/No dengan menggunakan persamaan 2.11.

Sebelum diterapkan metode *open loop power control*, pada CDF = 1, pada skema 20 user penginterferensi nilai Eb/No sebesar -7.79 dB, pada skema 15 user nilai Eb/No sebesar -9.12 dB, dan pada skema 10 user nilai Eb/No sebesar -8.46 dB.

Setelah diterapkan metode *open loop power control*, pada CDF = 1, pada skema 20 user penginterferensi nilai Eb/No sebesar 61.84 dB, pada skema 15 user nilai Eb/No sebesar 52.22 dB, dan pada skema 10 user nilai Eb/No sebesar 56.71 dB.

Hal tersebut menunjukkan setelah diterapkan metode *open loop power control* lebih baik daripada sebelum diterapkan metode *open loop power control*.



Gambar 14. Grafik Nilai Eb/No Skenario Interferensi 2

5. Simpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan data-data yang menunjukkan

metode *open loop power control* efektif meminimalisasi interferensi dengan dibuktikan daya penginterferensi yang menurun secara signifikan di HeNB. Rata-rata nilai daya penginterferensi MUE terhadap HeNB sebelum menggunakan metode *open loop power control* sebesar $5.14\text{E-}09$, $7.64\text{E-}08$, dan $1.08\text{E-}07$ sedangkan setelah menggunakan metode *open loop power control* sebesar $1.73\text{E-}18$, $5.46\text{E-}18$, dan $1.29\text{E-}17$. Selanjutnya rata-rata nilai daya penginterferensi HUE terhadap HeNB sebelum menggunakan metode *open loop power control* sebesar $7.05\text{E-}05$, $4.62\text{E-}05$, dan $1.23\text{E-}05$ sedangkan setelah menggunakan metode *open loop power control* sebesar $1.58\text{E-}04$, $5.26\text{E-}05$, dan $5.43\text{E-}06$.

Penurunan daya penginterferensi berdampak pada performansi sistem seperti SINR, *throughput*, efisiensi spektral, dan Eb/No. Sebelum dan sesudah diterapkan metode *open loop power control*, rentang prosentase rata-rata SINR diatas 30 dB adalah 13% - 100% dibandingkan sebelumnya yang memiliki rentang prosentase rata-rata 0% - 56%. Prosentase rata-rata nilai *throughput* diatas 2 Mbps adalah 70 - 100% dibandingkan *throughput* sebelumnya yang memiliki prosentase rata-rata 38%. Kemudian rentang prosentase rata-rata nilai efisiensi spektral diatas 10 bps/Hz adalah 13% - 43% dibandingkan sebelumnya yang memiliki prosentase rata-rata 0% - 37%. Kemudian rentang prosentase rata-rata Eb/No diatas 20 dB adalah 13-100% dibandingkan sebelumnya yang memiliki prosentase rata-rata 0% - 60%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Clerckx Bruno, Lozano Angel, Sesia Stefania, van Rensburg Cornelius, B. Papadias Constantinos, 2009, "3GPP LTE and LTE Advanced", Vol. 2009, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Hindawi Publishing Corporation
- [2] Dahlman Erik, Parkvall Stefan, Skold Johan, 2011, "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband", Elsevier Ltd, UK

- [3] Farhan Khan Muhammad, Imran Khan Muhammad, Raahemifar Kaamran, 2011, "A Study of Femtocell Architectures for Long Term Evolution (LTE) – Advanced Network". Toronto, Ryeson University
- [4] Khan Farooq, 2009, "LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance", Cambridge University Press, UK
- [5] Quintero, J. Nestor, 2008, "Advanced Power Control for UTRAN LTE Uplink", Aalborg University
- [6] Sawahashi Mamoru, Kishiyama Yoshihisa, Taoka Hidekazu, Tanno Motohiro, Nakamura Takehiro, 2009, "Broadband Radio Access : LTE and LTE-Advanced", Tokyo: Tokyo City University
- [7] S. Purnachand, K. Rajendra Prasad, K. Sripath Roy, A. Suresh, 2013, "Performance Analysis of Open Loop and Closed Loop Power Control Schmes for LTE Uplink", (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies
- [8] Zarrinkoub Houman, 2012, "Modelling a 4G-LTE System in MATLAB". The MathWorks, Inc
- [9] Zhang Jie, 2010, "Femtocell Technologies and Deployment", Willey, UK
- [10] 3GPP TR 36.921, 2009, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); FDD Home eNodeB (HeNB) Radio Frequency (RF) Requirement Analysis (3GPP TR 36.921 version 9.0.0 Release 9)", 3GPP
- [11] 3GPP, TSG RAN WG4, 2009, "Simulation Assumptions And Parameters for FDD HeNB RF Requirements", 3GPP, TSG RAN WG4 (R4-092042), Vodafone: Alcatel-Lucent, San Francisco