

Evaluasi Kinerja Penerapan Koordinasi Interferensi pada Sistem Komunikasi LTE-Advanced dengan Relay

Rosita Elvina, Gamantyo Hendrantoro, dan Devy Kuswidiastuti.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: gamantyo@ee.its.ac.id

Abstrak— Perkembangan teknologi komunikasi di Indonesia akan memasuki era LTE-advanced (4G) yang memiliki beberapa kemampuan yang semakin menguntungkan pengguna. Salah satu kemampuan yang dimiliki adalah meningkatkan performansi *user* yang berada pada daerah tepi sel dengan meletakkan *relay* pada daerah tersebut. Teknologi ini memiliki permasalahan mengenai *inter-cell interference* (ICI) dan nilai *throughput* pada daerah tepi sel. Pada penelitian ini dilakukan analisis tentang dampak dari penambahan koordinasi interferensi pada sistem komunikasi LTE-advanced dengan *relay*, yang dapat mengurangi interferensi antar-*relay* dan meningkatkan kinerja sistem. Koordinasi interferensi yang digunakan adalah teknik penjadwalan penggunaan *resource* pada *access link* di setiap *relay*. Teknik penjadwalan dilakukan dengan beberapa tahap yaitu, penghitungan alokasi *resource* setiap *relay*, dan perhitungan jumlah *subframe* komunikasi semua *user* pada masing – masing *relay*. Dengan menggunakan teknik penjadwalan pada *access link*, maka pelayanan yang diberikan kepada pengguna yang berada di ujung cakupan (daerah tepi sel) akan memiliki performansi yang lebih baik. Parameter performansi yang diukur pada penelitian ini adalah SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*), *throughput*, *spectral efficiency*, dan BER (*Bit Error Rate*).

Kata Kunci: LTE-advanced; relay; koordinasi interferensi; SINR; throughput.

I. PENDAHULUAN

SAAT ini teknologi komunikasi berkembang dengan pesat. Hal ini terlihat dari semakin meningkatnya kecepatan pengiriman data serta pelayanan yang diberikan pada pengguna. Di Indonesia, perkembangan teknologi komunikasi akan memasuki era *Long Term Evolution-Advanced* (LTE-A) yang memiliki beberapa kemampuan yang semakin menguntungkan pengguna. Salah satu kelebihan yang dimiliki oleh teknologi ini adalah *relaying* [1]. Kemampuan *relaying* dapat meningkatkan cakupan area serta kapasitas dari jaringan. Namun, kelebihan tersebut menimbulkan permasalahan mengenai *inter-cell interference* (ICI) dan nilai *throughput* pada daerah tepi sel [2].

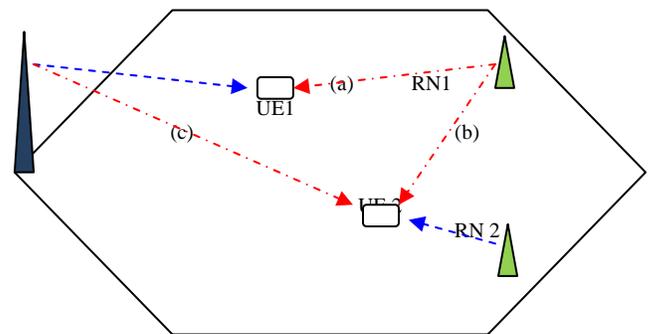
Daerah cakupan *relay* dibatasi oleh rendahnya daya transmisi, kemampuan antena yang terbatas, dan adanya *bottleneck* pada *backhaul link*. Penyebaran *relay* menunjukkan adanya peningkatan level interferensi pada suatu jaringan yang menyebabkan penurunan *throughput* pengguna [2].

Konsep komunikasi dengan *relay* di Indonesia memiliki

peluang yang besar karena perkembangan LTE sudah dimulai. Untuk memberikan pelayanan yang baik kepada setiap pengguna, maka perlu adanya sebuah konsep yang memberikan cara untuk dapat meningkatkan kemampuan pelayanan pada *user* yang berada di daerah tepi sel dengan mengkoordinasikan interferensi yang terjadi karena adanya penyebaran *relay* pada daerah tepi sel. Untuk mengetahui apakah sistem tersebut dapat bekerja dengan baik, maka diperlukan sebuah evaluasi kinerja.

II. KOORDINASI INTERFERENSI

Terdapat tiga macam interferensi yang disebabkan adanya penyebaran *relay node* (RN). Sebagaimana terlihat pada Gambar 1, garis putus – putus berwarna biru merupakan sinyal yang diinginkan dan titik – titik berwarna merah merupakan interferensi yang terjadi [2].



Gambar. 1. Ilustrasi Skenario Interferensi [2]

Lintasan (a) menunjukkan interferensi yang terjadi pada *user equipment* (UE) yang dilayani oleh *Donor eNB* (DeNB) yang disebabkan oleh *access link* RN1. Lintasan (b) menunjukkan interferensi yang terjadi pada UE yang dilayani oleh RN2 yang disebabkan oleh *access link* RN1. Sedangkan lintasan (c) menunjukkan interferensi yang terjadi pada UE yang dilayani RN2 yang disebabkan oleh *direct link* DeNB [2].

Pada penelitian ini, skema koordinasi interferensi dilakukan dengan cara penjadwalan pada *access link*. Penjadwalan dilakukan berdasarkan kebutuhan jumlah *subframe user* yang berada pada daerah tepi sel.

Sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan *bandwidth* 10 MHz memiliki 50 PRB (*Physical Resource Block*) pada sistemnya. Masing – masing PRB terdiri dari 10 *subframe*.

Setiap *subframe* memiliki TTI (*Transmission Time Interval*) selama 1 ms [1]. Pada proses penjadwalan terdapat dua keadaan pada setiap RN yaitu *firstly schedule* dan *lastly schedule* [2].

Firstly schedule merupakan keadaan selama RN memenuhi kebutuhan *subframe* semua *user* yang berada di daerah cakupan RN tersebut dan pada keadaan ini RN akan menginterferensi daya terima *user* yang berada di sel lain. Sedangkan *lastly schedule* adalah keadaan saat kebutuhan *subframe* semua *user* yang dilayani oleh RN tersebut telah terpenuhi, pada keadaan ini daya yang dipancarkan RN akan dimatikan sehingga RN tersebut tidak menginterferensi daya terima *user* yang berada di sel lain [2].

III. METODE

A. Rancangan Sistem

Pada penelitian ini, hal pertama yang dilakukan adalah membuat model sistem LTE-A dengan *relay* yang terdiri atas 21 sel heksagonal, dimana setiap 3 sel heksagonal dilayani oleh 1 eNB dan terdapat 4 *relay* yang diletakkan pada daerah tepi sel pada setiap sel.

Setelah itu dilakukan pembangkitan *user* secara acak, kemudian sistem akan menghitung daya terima terbaik yang didapat oleh *user*, dari nilai daya terima tersebut akan ditentukan apakah proses komunikasi akan melalui *relay* atau melalui eNB. Selanjutnya sistem akan menghitung nilai SINR, *throughput*, *spectral efficiency*, dan BER.

Untuk sistem kedua, pada komunikasi sistem LTE-A dengan *relay* diterapkan skenario koordinasi interferensi pada *access link*. Setelah itu, sistem akan menghitung SINR, *throughput*, *spectral efficiency*, dan BER.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan nilai SINR dan *throughput* dari kedua sistem. Sehingga dapat diketahui sistem mana yang memiliki kinerja yang lebih baik. Pada penelitian ini, penilaian kinerja sistem ditentukan oleh nilai SINR, *throughput*, *spectral efficiency*, dan BER.

B. Arsitektur Sistem

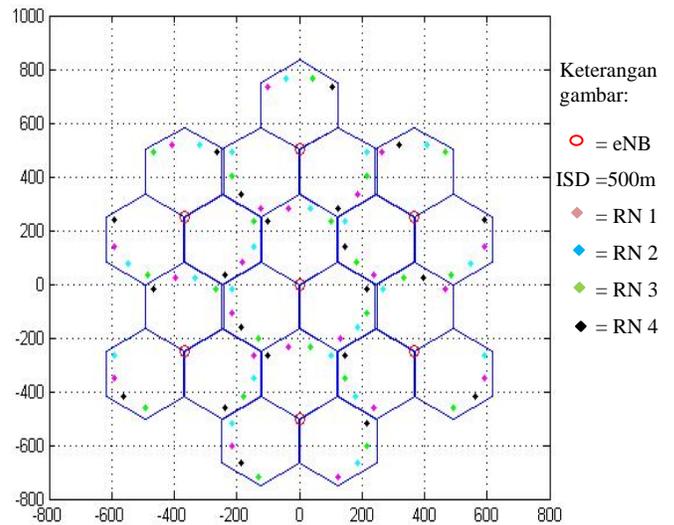
Pada penelitian ini, hal pertama yang dilakukan adalah pembuatan model sistem LTE-A dengan *relay*. Pada tahap ini dilakukan pembuatan arsitektur sistem yang terdiri dari 21 sel heksagonal, tujuh eNB, dan empat *relay* pada setiap sel.

Pada sistem ini, satu eNB akan melayani tiga sel heksagonal, dengan ISD (*inter – site distance*) 500 meter, dan eNB tersebut diletakkan diantara tiga sel heksagonal yang dilayani. Pada masing – masing sel terdapat empat *relay* yang diletakkan pada daerah tepi sel. Sehingga kita dapat menentukan jika tepi sel merupakan wilayah cakupan dari *relay* dan seluruh *mobile station* yang berada di tepi sel akan dilayani oleh *relay*. Arsitektur sistem yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Setelah pembangkitan sel, eNB, dan *relay*, tahap selanjutnya adalah pembangkitan *user*. Pada setiap sel dibangkitkan 25 *user* secara acak dan terdistribusi *uniform*. Pembangkitan *user* hanya dilakukan pada sel yang berada

ditengah dan sel yang berada didekat sel yang diamati merupakan sel penyebab interferensi.

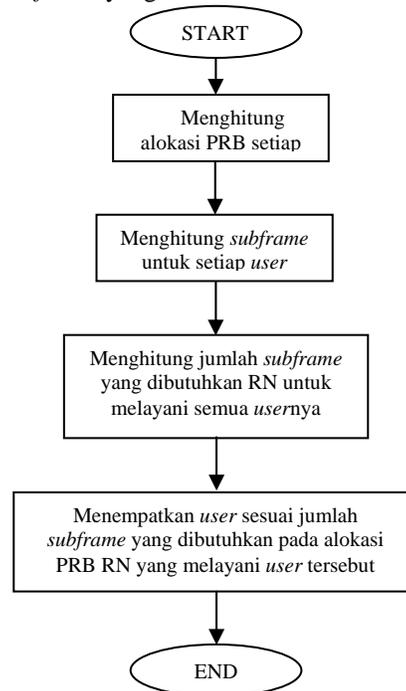
Kemudian dilakukan perhitungan daya yang diterima oleh setiap *user* untuk menentukan apakah eNB atau *relay* yang akan melayani *user* tersebut.



Gambar. 2. Arsitektur Sistem

C. Koordinasi Interferensi

Pada proses ini dilakukan beberapa tahap, tahap pertama adalah perhitungan jumlah PRB yang dialokasikan untuk setiap RN. Tahap kedua adalah perhitungan jumlah *subframe* yang digunakan oleh setiap *user* pada *access link*. Selanjutnya dilakukan tahap penjadwalan pemakaian PRB sesuai dengan hasil perhitungan jumlah alokasi PRB untuk setiap RN dan jumlah *subframe* yang dibutuhkan *user*.



Gambar. 3. Blok Diagram Penjadwalan

1) Perhitungan Alokasi PRB untuk Setiap RN

Alokasi PRB digunakan untuk menentukan pembagian resource untuk masing – masing relay, sehingga setiap RN pada satu sel menggunakan subcarrier yang berbeda dan tidak menginterferensi satu sama lain. Jumlah alokasi PRB untuk setiap RN didapatkan dengan persamaan [3]:

$$m_i = \left(\frac{u_i}{u_{RN}} \right) \times M_a \quad (1)$$

dimana m_i menyatakan jumlah PRB pada RN ke – i, u_i menyatakan jumlah user pada RN ke – i, u_{RN} menyatakan jumlah user pada semua RN, dan M_a menyatakan jumlah PRB pada access link.

2) Perhitungan Subframe untuk User pada Access Link

Perhitungan ini digunakan untuk proses penjadwalan atau penetapan masa aktif setiap relay. Selama relay tersebut masih memenuhi kebutuhan subframe semua user yang dilayani (firstly schedule) maka relay tersebut akan memberikan interferensi pada relay lain yang berada di sel tetangganya. Sedangkan saat semua kebutuhan subframe user yang dilayaninya sudah terpenuhi maka relay tersebut akan dimatikan dayanya sehingga tidak menginterferensi relay lain (yang masih aktif memenuhi kebutuhan subframe user – nya) yang berada di sel tetangga (lastly schedule).

Jumlah subframe yang dibutuhkan setiap user yang berada di access link didapatkan dengan persamaan [4]:

$$m_{UE} = \left(\frac{S_{RF} \times \text{bit rate}}{TP_{PRB_{UE}}} \right) \times S_a \quad (2)$$

dimana m_{UE} menyatakan subframe setiap user, S_{RF} menyatakan jumlah subframe pada radio frame, $TP_{PRB_{UE}}$ menyatakan throughput per PRB yang dicapai user (bps), dan S_a menyatakan jumlah subframe pada access link.

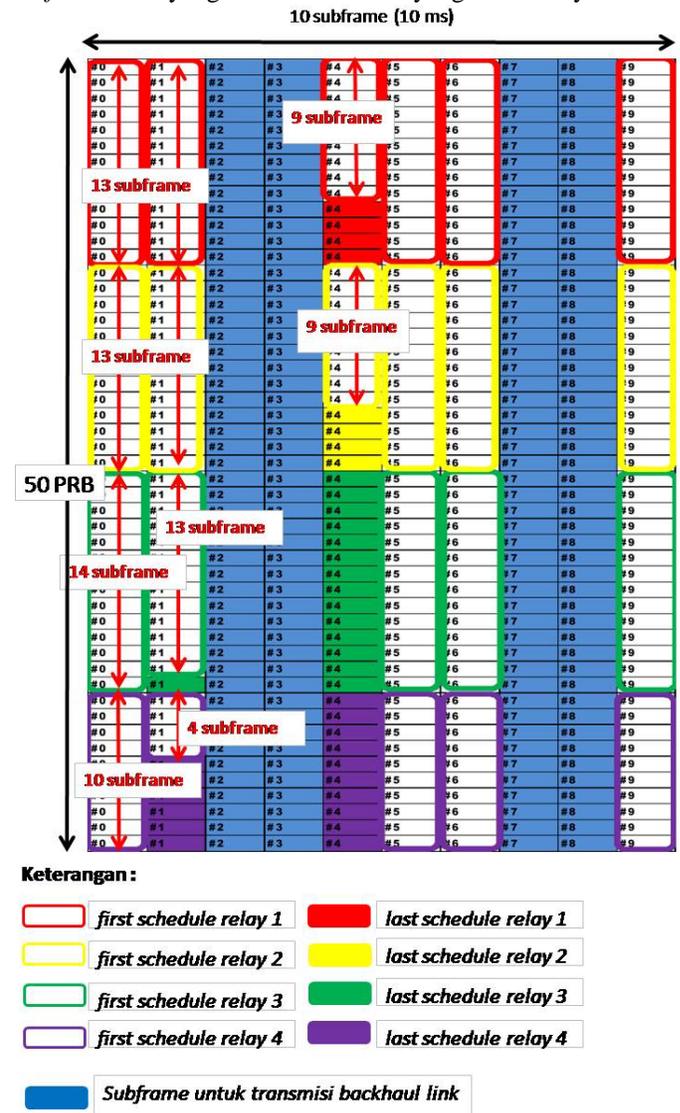
3) Proses Penjadwalan

Salah satu contoh penjadwalan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Jika didapatkan alokasi PRB untuk RN 1 dan RN 2 sebanyak 13 PRB dan jumlah subframe yang dibutuhkan untuk proses komunikasi semua usernya sebanyak 35 subframe. Alokasi PRB untuk RN 3 sebanyak 14 PRB dan jumlah subframe yang dibutuhkan semua usernya sebanyak 27 subframe, alokasi PRB untuk RN 4 sebanyak 10 PRB dan jumlah subframe yang dibutuhkan semua user – nya sebanyak 14 subframe, maka penjadwalan yang akan terjadi adalah seperti yang terlihat pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa saat relay telah memenuhi kebutuhan subframe semua user yang dilayaninya maka relay tersebut akan memasuki keadaan lastly schedule dan pada keadaan ini daya pancar relay akan dimatikan sehingga relay tersebut tidak akan menginterferensi relay yang berada di sel lain disekitarnya. Setelah semua relay telah memenuhi kebutuhan subframe usernya masing – masing, maka keadaan penggunaan subframe pada TTI selanjutnya akan kembali

seperti keadaan awal dimana semua relay berada pada keadaan firstly schedule dengan alokasi PRB dan kebutuhan subframe user yang berbeda dari TTI yang sebelumnya.



Gambar. 4. Contoh Penjadwalan

D. Perhitungan Performansi

Evaluasi kinerja dari sistem ini ditentukan dengan nilai SINR, throughput, spectral efficiency, dan bit error rate (BER).

Nilai SINR untuk user yang dilayani oleh eNB didapatkan dari persamaan [2]:

$$SINR = \frac{Pr_{eNB,i}}{\sum_j Pr_{RN,i,j} + N + I_i}, j = \{1, \dots, M\} \quad (3)$$

Sedangkan SINR untuk user yang dilayani oleh relay didapatkan dari persamaan [2]:

$$SINR = \frac{Pr_{RN,i,k}}{Pr_{eNB,i} + \sum_j Pr_{RN,i,j} + N + I_i}, j = \{1, \dots, M \text{ atau } k\} \quad (4)$$

dimana $SINR$ merupakan *Signal to Interference plus Noise Ratio*, $Pr_{eNB,i}$ menyatakan daya terima $user_i$ dari eNB (Watt), $Pr_{RN,i,j}$ menyatakan daya terima $user_i$ dari relay j (Watt), I_i menyatakan daya interferensi pada $user_i$ (Watt), dan N menyatakan *thermal noise* (Watt).

Nilai *throughput* didapatkan dari SINR dengan persamaan :

$$T = B \log_2(1 + SINR) \tag{5}$$

dimana T menyatakan *throughput* (bps), dan B menyatakan *bandwidth user* (Hz).

Nilai *spectral efficiency* didapatkan dari persamaan :

$$S = \frac{T}{B} \tag{6}$$

dimana S menyatakan *spectral efficiency* (bps/Hz).

Nilai BER didapatkan dari persamaan [5]:

$$Pe = \frac{4}{\log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \times \left(\frac{Eb}{No}\right) \times \log_2 M}{M-1}}\right) \tag{7}$$

dimana Pe menyatakan probabilitas error, M menyatakan M-ary QAM.

IV. ANALISIS HASIL SIMULASI

Pada bagian ini akan dibahas tentang analisis hasil simulasi sistem LTE-A dengan *relay* tanpa menggunakan skenario koordinasi interferensi dan sistem LTE-A dengan *relay* menggunakan skenario koordinasi interferensi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai SINR, *throughput*, *spectral efficiency*, dan BER dari masing – masing sistem komunikasi dan kemudian akan membandingkan keduanya.

Analisis nilai SINR, *throughput*, dan *spectral efficiency* dilakukan dengan bantuan grafik CDF (*Cumulative Distribution Function*) dari masing – masing parameter performansi tersebut. Bentuk ekspresi matematis dari CDF adalah :

$$F(x) = P(X \leq x)$$

dimana X merupakan variabel acak yang diamati (SINR, *throughput*, dan *spectral efficiency*).

Sedangkan analisis nilai BER dilakukan dengan bantuan grafik CCDF (*Complementary Cumulative Distribution Function*). Bentuk ekspresi matematis dari CDF adalah :

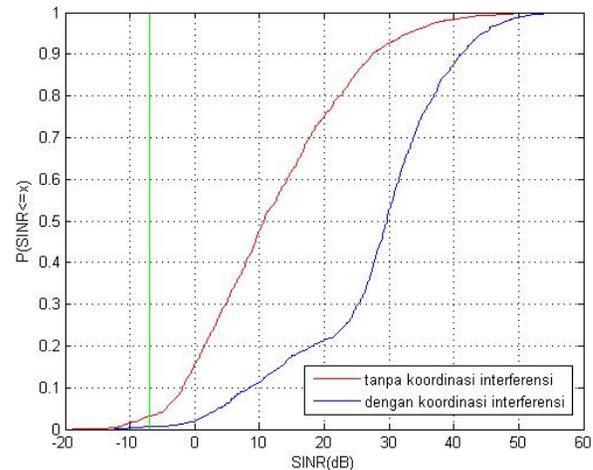
$$F'(x) = P(X \geq x)$$

A. Analisis Perbandingan Nilai Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)

Dari hasil simulasi sistem LTE-A dengan *relay*, didapatkan dua grafik SINR dalam Gambar 5, dimana grafik menjelaskan SINR dari sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi dan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.

Secara umum dapat dilihat jika performa sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan skenario koordinasi interferensi lebih baik dalam hal SINR jika dibandingkan dengan sistem LTE – *advanced* dengan *relay* yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.

Pada saat SINR bernilai -7 dB (nilai *threshold* jika menggunakan modulasi 64 QAM dengan *code rate* 9/10, digambarkan dengan garis hijau pada Gambar 5) sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi memiliki probabilitas sebesar 0.0064 sedangkan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi memiliki probabilitas sebesar 0.0304.



Gambar. 5. Grafik SINR Downlink

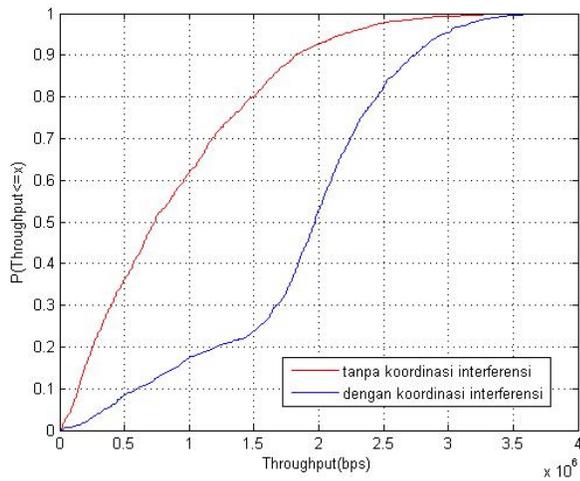
Pada sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi, nilai tersebut menunjukkan bahwa pada saat user memiliki SINR kurang dari -7 dB, maka kemungkinan user dengan SINR bernilai -7 dB adalah 0.0064 atau lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.

Selain itu, pada Gambar 5 juga terlihat bahwa 50% *user* pada sistem yang tidak menggunakan koordinasi interferensi memiliki nilai SINR sebesar 10 dB dan setelah digunakan skenario koordinasi interferensi nilai SINR mengalami pertambahan hingga mencapai 30 dB. Dari data tersebut terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai SINR sebesar 20 dB pada sistem LTE-A dengan *relay* yang disimulasikan pada penelitian ini.

B. Analisis Perbandingan Nilai Throughput

Nilai *throughput* yang terdapat pada Gambar 6 merupakan nilai indikator *throughput* yang didapat dari persamaan Shannon. Pada simulasi penelitian ini didapatkan dua grafik *throughput* yang menunjukkan tentang perbandingan *throughput* setiap *user* pada sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi dengan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa secara umum nilai *throughput user* pada sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan skenario koordinasi interferensi lebih baik jika dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.



Gambar. 6. Throughput Sistem

Pada grafik *throughput* sistem terlihat bahwa 50% *user* pada sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi memiliki nilai *throughput* diatas 1900 Kbps, sedangkan pada sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi hanya 750 Kbps. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan skenario koordinasi interferensi memiliki kualitas *throughput* yang lebih baik jika dibandingkan dengan sistem LTE-A dengan *relay* yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.

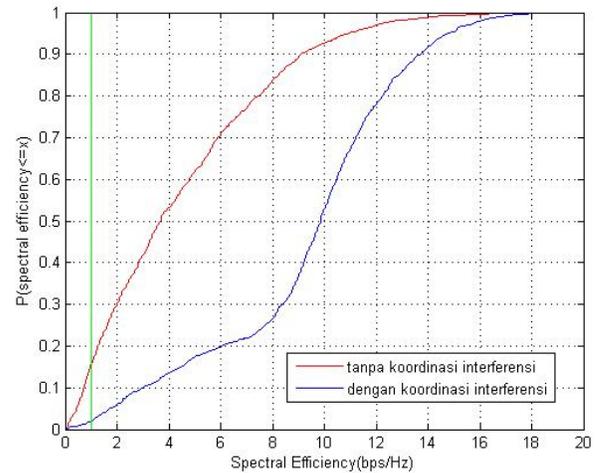
C. Analisis Perbandingan Nilai Spectral Efficiency

Nilai *spectral efficiency* yang ada pada Gambar 7 merupakan nilai *spectral efficiency* pada setiap *user* pada sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan skenario koordinasi interferensi maupun sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa nilai *spectral efficiency* pada sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi lebih baik jika dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan koordinasi interferensi. Probabilitas *user* yang memiliki nilai *spectral efficiency* kurang dari 1 bps/Hz (*threshold spectral efficiency* untuk komunikasi yang digambarkan dengan garis hijau pada Gambar 7) pada sistem LTE-A dengan *relay* yang tidak menggunakan koordinasi interferensi lebih besar jika dibandingkan dengan sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan koordinasi interferensi.

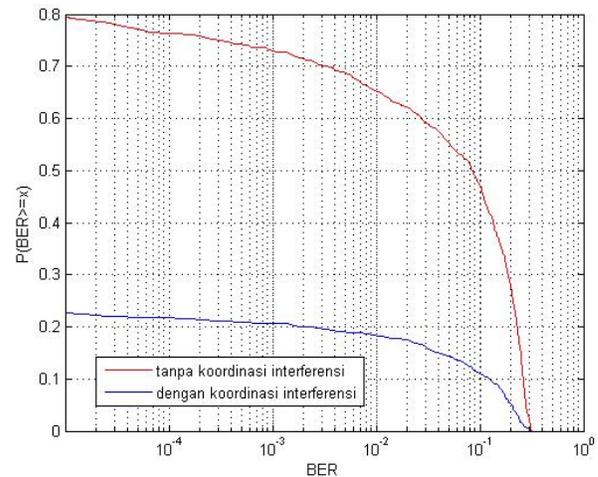
Pada sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi, 50% *user* memiliki nilai *spectral efficiency* sebesar 9.8495 bps/Hz, sedangkan pada sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi 50% *user* – nya memiliki nilai *spectral efficiency* sebesar 3.6662 bps/Hz.

Dari data tersebut didapatkan bahwa sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan skenario koordinasi interferensi lebih efisien dalam penggunaan spektrum frekuensi jika dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.



Gambar. 7. Spectral Efficiency Sistem

D. Analisis Perbandingan Nilai Bit Error Rate (BER)



Gambar. 8. Grafik CCDF Bit Error Rate

Pada Gambar 8 terlihat bahwa pada nilai BER 10^{-3} , sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan skenario koordinasi interferensi memiliki CCDF sebesar 20,56%. Sedangkan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi memiliki CCDF sebesar 72,96%. Terjadi penurunan CCDF sebesar 52,4%. Sehingga dapat dikatakan bahwa probabilitas terjadinya eror saat transmisi pada sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi lebih besar jika dibandingkan dengan sistem yang menggunakan skenario koordinasi interferensi.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan pemodelan sistem dan analisis data, didapatkan kesimpulan bahwa kualitas SINR dan *throughput* pada sistem LTE-A dengan *relay* yang menggunakan skenario koordinasi interferensi lebih baik jika dibandingkan dengan sistem LTE-A dengan *relay* yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi. Setelah penggunaan skenario koordinasi interferensi terjadi peningkatan nilai SINR sebesar 20 dB pada 50% *user* dan *throughput user* mengalami

peningkatan sebesar 1150 Kbps jika dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan skenario koordinasi interferensi.

Selain itu, setelah penerapan skenario koordinasi interferensi *spectral efficiency* pada 50% *user* mengalami peningkatan dari sebesar 3.6662 bps/Hz menjadi 9.8495 bps/Hz. Dan probabilitas terjadinya eror saat transmisi setelah penerapan skenario koordinasi interferensi mengalami penurunan sebesar 52,4%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Dahlman, E., Stevan Parkvall, dan Johan Skold. 2011. “*4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*”, Elseiver Ltd, USA.
- [2]. Ren, Z., Abdallah Bou Saleh, Ömer Bulakci, Simone Redana, Bernhard Raaf, Jyri Hämäläinen. 2012. “*Joint Interference Coordination and Relay Cell Expansion in LTE-Advanced Networks*”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference: Mobile and Wireless Networks.
- [3]. Ren, Z., Abdallah Bou Saleh, Ömer Bulakci, Simone Redana, Bernhard Raaf, Jyri Hämäläinen. 2011. “*Resource Sharing in Relay – Enhanced 4G Networks: Downlink Performance Evaluation*”, European Wireless, Vienna, Austria.
- [4]. Vitiello, Federica., Simone Redana, Jyri Hämäläinen. 2012. “*Backhaul Link Impact on the Admission Control in LTE-A Relay Deployment*”, Paper of Nokia Siemens Networks.
- [5]. Goldsmith, Andrea. 2005. “*Wireless Communication*”, Cambridge University Press, USA.