

# Analisis Implementasi CRM Pada LTE Dengan SFBC MIMO OFDM Arah Downlink Untuk High Mobility

Oktaviana Ari Susanti<sup>1</sup>, Rina Pudjiastuti<sup>2</sup>, dan Hurianti Vidyningtyas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Bandung, <sup>2</sup> Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Bandung <sup>3</sup> Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Bandung

oktaviana@studentsi.ittelkom.ac.id,

**ABSTRACT** — Communications with high speed broadband such as LTE vulnerable to degradation due to selective fading. It is very harmful because it can lead to intersymbol interference, which can increase the bit error rate (BER). In addition, the high mobility also causes fast fading where the power fluctuates very quickly. To overcome this, this research use space frequency block coding (SFBC) and coding rotated MIMO modulation (CRM) to improve signal quality. The SFBC relies on algorithm that applies the principles Alamouti space-frequency diversity. Coding rotated modulation (CRM) is implemented by rotating the signal constellation and using quadrature interleaver. Both techniques are implemented in the LTE downlink systems with Rayleigh channels models and different user velocity.

**Keyword** — CRM, LTE, MIMO, SFBC.

**ABSTRAK** — Komunikasi pita lebar seperti pada LTE (*Long Term Evolution*), rawan mengalami penurunan kualitas akibat *fading* yang bersifat selektif. Selain itu, mobilitas yang tinggi juga menyebabkan *fast fading* dimana daya berfluktuasi dengan sangat cepat. Hal ini sangat merugikan karena dapat menyebabkan interferensi antar simbol yang pada akhirnya dapat meningkatkan *bit error rate* (BER). Untuk mengatasi hal tersebut, pada tugas akhir ini digunakan *space frequency block coding* (SFBC) MIMO ditambah *coding rotated modulation* (CRM) untuk memperbaiki kualitas sinyal. SFBC yang digunakan mengikuti algoritma alamouti yang menerapkan prinsip diversitas ruang-frekuensi. *coding rotated modulation* (CRM) diimplementasikan dengan memutar konstelasi sinyal dan pemakaian quadrature interleaver. Kedua teknik tersebut diimplementasikan pada sistem LTE downlink dengan kanal Rayleigh dan kecepatan user yang bervariasi. Parameter kinerja ditunjukkan oleh perbandingan  $E_b/N_0$  dan *Bit error Rate* (BER).

**Kata kunci** — CRM, LTE, MIMO, SFBC

## I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi berkembang dengan sangat pesat seiring dengan besarnya permintaan akan komunikasi *wireless* berkualitas baik dengan kecepatan tinggi. Disisi lain, terbatasnya *bandwidth* yang ada menuntut peningkatan efisiensi spektrum dengan teknologi baru. LTE adalah salah satu sistem komunikasi *wireless* yang didesain untuk dapat meningkatkan kecepatan data, meningkatkan efisiensi spektrum dan mendukung ukuran *bandwidth* yang lebar (*broadband*)<sup>[3]</sup>. Untuk dapat memenuhi hal tersebut, sistem LTE didukung berbagai teknologi, diantaranya adalah MIMO-OFDM dan teknik pengkodean yang canggih.

Pada komunikasi *wireless* kondisi kanal tidak selalu *line of sight* (LOS) sehingga menimbulkan efek *multipath*

*fading* dimana sinyal yang diterima adalah penjumlahan dari sinyal langsung maupun sinyal pantul dari berbagai objek disekitarnya. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas komunikasi *wireless* serta menimbulkan berbagai macam interferensi. Salah satu teknik untuk mengatasi *multipath fading* adalah dengan penggunaan sistem *Multiple input multiple output* (MIMO)<sup>[5]</sup>. MIMO menggunakan lebih dari satu antena di pengirim maupun penerima dan menerapkan sistem diversitas. Salah satu teknik MIMO yang banyak dikembangkan saat ini adalah *space frequency block code* (SFBC) yang menerapkan diversitas ruang-frekuensi.

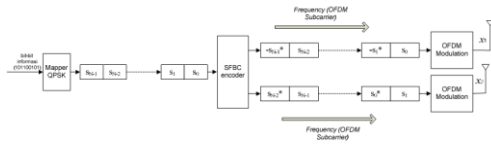
Selain efek *multipath*, pergerakan *user* terhadap BTS dapat menimbulkan modulasi frekuensi random yang berkaitan dengan efek *Doppler*<sup>[14]</sup>. Pergerakan *user* ini menyebabkan pergeseran frekuensi *doppler* yang dapat mengakibatkan *Doppler spread* berupa pelebaran *bandwidth* sinyal terima. Kondisi ini memburuk pada user dengan kecepatan tinggi. Hal ini dapat menimbulkan interferensi antar simbol (ISI) yang mengganggu komunikasi. Selain itu, salah satu kelemahan dari OFDM adalah performansinya yang buruk pada data kecepatan tinggi karena diversitas frekuensi tidak tercapai<sup>[15]</sup>. Untuk mengatasi hal tersebut, diusulkan penggunaan *Coding Rotated Modulation* (CRM) untuk memperbaiki kualitas transmisi sehingga dapat mengurangi efek ISI<sup>[14]</sup>.

## II. DASAR TEORI

### A. SFBC MIMO

*Space Frequency Block Coding* (SFBC) merupakan pengkodean untuk sistem MIMO pada domain antena /frekuensi. Ini adalah versi domain frekuensi dari STBC yang merupakan pengkodean pada domain antena /waktu. SFBC menggunakan skema Alamouti<sup>[9]</sup> yang merupakan salah satu skema yang paling mudah serta tidak mengalami *rate loss* (*rate-one code*) karena simbol dianggap saling orthogonal sempurna.

Keuntungan SFBC dibandingkan STBC adalah *coding* SFBC dilakukan di semua *subcarrier* di dalam interval simbol OFDM. Penggunaan SFBC dilakukan pada sepasang nilai simbol modulasi yang kompleks. Sepasang modulasi yang kompleks langsung dipetakan ke OFDM *subcarrier* pada antena pertama, sedangkan pemetaan dari sepasang simbol untuk penyesuaian *subcarrier* pada antena kedua.



Gambar 2.1 Space Frequency Block Code dengan dua antenna transmitter<sup>[9]</sup>

Simbol-simbol yang ditransmisikan dari dua antenna transmitter pada tiap-tiap pasang dari subcarrier yang berdekatan dapat digambarkan sebagai berikut <sup>[9]</sup>

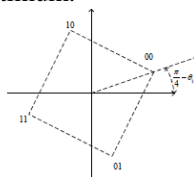
$$X = \begin{bmatrix} x^{(0)}(1) & x^{(1)}(1) \\ x^{(0)}(2) & x^{(1)}(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 & -s_1^* \\ s_1 & s_0^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dimana  $x^{(k)}(p)$  adalah simbol yang ditransmisikan dari antenna ke 'p' pada subcarrier ke 'k'.

$x_1$  dan  $x_2$  merupakan simbol hasil OFDM modulation,  $x_1$  merupakan simbol OFDM yang dikirimkan melalui antenna satu, dan  $x_2$  merupakan simbol OFDM yang dikirimkan melalui antenna dua.

### B. CRM

Rotated Modulation adalah pemutaran konstelasi sinyal untuk mendapatkan nilai BER yang lebih baik. Pada tugas akhir ini digunakan mapper QPSK. Rotated Modulation memutar konstelasi QPSK dengan sudut tertentu yang dianggap optimum.



Gambar 2.2 Konstelasi Rotated-QPSK<sup>[14]</sup>

Misalkan terdapat konstelasi QPSK (A,B) diputar sebesar sudut  $\theta_1$  menjadi konstelasi (X,Y), maka (X,Y) dapat di definisikan sebagai berikut <sup>[15]</sup>:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = R_{\theta_1} \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & \sin\theta_1 \\ -\sin\theta_1 & \cos\theta_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

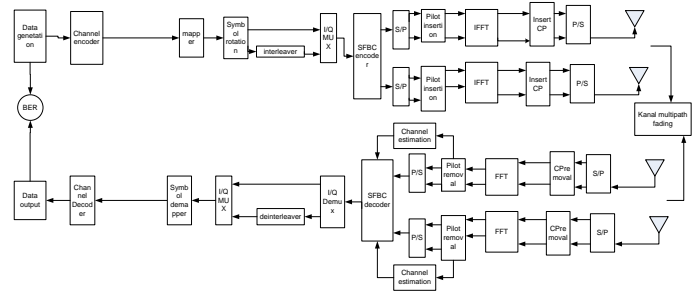
Jika dianggap "deep fade hits" hanya salah satu komponen dari vektor sinyal yang ditransmisikan, maka jika terjadi kompresi konstelasi, rotated modulation menawarkan perlindungan yang lebih baik terhadap efek noise karena tidak ada dua poin yang collapse.

Selanjutnya pada proses Coding Rotated Modulation (CRM), symbol yang telah dirotasi kemudian diacak bagian quadraturenya. Sebelum diacak, bagian inphase dan quadrature symbol dipisahkan terlebih dahulu. Setelah bagian quadrature diacak dengan interleaver, maka symbol digabungkan kembali. Sehingga terbentuk symbol baru dimana pasangan inphase dan quadraturenya telah tertukar. Pengacakan ini dimaksudkan untuk melindungi sinyal terhadap efek multipath yang dapat menimbulkan burst error atau error yang sifatnya berurutan. Dengan adanya quadrature interleaver ini burst error diubah menjadi random error.

## III. PEMODELAN SISTEM

Simulasi dilakukan untuk sistem komunikasi wireless broadband dengan asumsi user bergerak dengan kecepatan cukup tinggi. Dari pergerakan user yang tinggi ini menyebabkan kondisi kanal berubah dengan cepat dan mengakibatkan fading. Dalam tugas akhir ini digunakan kanal Rayleigh dengan parameter kanal mengikuti rekomendasi dari ITU-R M.1225. Pengujian dilakukan dengan software MATLAB dengan parameter simulasi merujuk pada standard 3GPP.

Pengkodean CRM dilakukan setelah blok mapper yang pada tugas akhir ini menggunakan QPSK. Data pengirim dan penerima akan dibandingkan untuk mendapatkan tingkat eror yang dihasilkan sistem. Simulasi dilakukan untuk sistem yang menggunakan CRM dan tanpa CRM untuk mengetahui kinerja CRM pada sistem LTE. Analisis juga dilakukan untuk beberapa kecepatan mulai dari 60 km/jam, 120 km/jam dan 150 km/jam untuk mengetahui pengaruh pergerakan user terhadap kinerja CRM.



Gambar 2.3 blok diagram simulasi CRM pada LTE

Di dalam sistem ini, data dibangkitkan menggunakan data generator kemudian masuk ke blok channel coding. Keluaran channel coding masuk ke dalam mapper QPSK. Keluaran mapper ini diproses dalam blok CRM yang terdiri dari pemutaran konstelasi simbol dan interleaver. Keluaran blok CRM ini kemudian dipetakan oleh blok SFBC ke dua buah lengan antenna. Simbol di tiap lengan diubah menjadi symbol OFDM kemudian dilakukan penyisipan pilot dan zero padding serta perubahan ke domain frekuensi melalui IFFT. Di bagian penerima, dilakukan proses yang merupakan kebalikan dari bagian pengirim. Pada proses demodulasi CRM, sinyal tidak diputar kembali ke konstelasi awal, tetapi langsung didemodulasikan menggunakan maximum likelihood.

## IV. ANALISIS HASIL SIMULASI

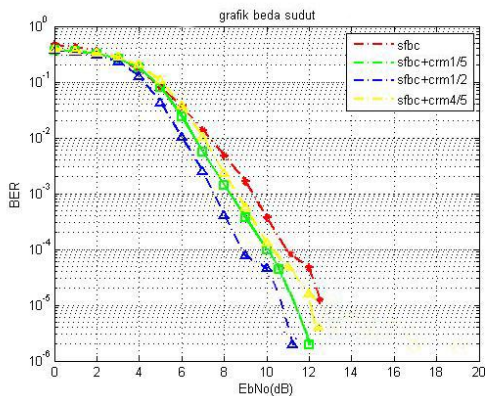
### A. Analisa pengaruh perubahan sudut rotasi terhadap kinerja CRM

Subbab ini menganalisa pengaruh perubahan besar sudut rotasi terhadap kinerja CRM. Pada percobaan ini, disimulasikan sistem CRM dengan tiga sudut rotasi yang berbeda, yaitu sudut 0,19738 radian (arctan 1/5), 0,463638

radian ( $\arctan 1/2$ ) dan  $0,67469$  radian( $\arctan 4/5$ ). Parameter yang digunakan dalam simulasi ini adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Parameter simulasi untuk beberapa sudut rotasi

Parameter	
Mapper	QPSK
Symbol rotation	0,19738; 0,463648; 0,67469
Subcarrier	256
Kanal	Rayleigh
Kecepatan user	120 km/jam



Gambar 4.1 Grafik perbandingan kinerja CRM pada berbagai sudut

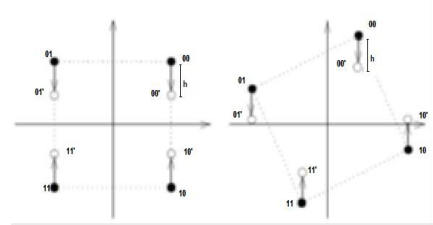
**Tabel 4.2** tabel hasil simulasi untuk beberapa sudut rotasi

Besar sudut	Eb/No (dB)
0 (tanpa CRM)	10,74
0,19738	10
0,46364	8,8
0,67469	10,2

Dari gambar 4.1, terlihat bahwa sistem yang menerapkan CRM untuk semua sudut memiliki kinerja yang lebih baik daripada yang tidak menerapkan CRM. Untuk sudut rotasi  $0,19738$  radian, sistem dapat mencapai BER  $10^{-4}$  dengan Eb/No sebesar  $10$  dB. Sistem dengan sudut rotasi  $0,46364$  radian memerlukan Eb/No sebesar  $8,8$  dB, sistem dengan sudut rotasi  $0,67469$  radian memerlukan Eb/No sebesar  $10,2$  dB dan sistem tanpa CRM membutuhkan Eb/No sebesar  $10,74$  dB. Terlihat bahwa sudut rotasi yang menghasilkan kinerja paling baik ada di sudut  $0,46364$  radian atau  $\arctan 1/2$ .

Fading yang terjadi akibat kondisi kanal yang buruk dapat menyebabkan daya sinyal menjadi turun. Penurunan daya sinyal ini dapat menyebabkan symbol terkompresi sehingga letaknya pada konstelasi semakin mendekati sumbunya. Jika dianggap fading yang berpengaruh pada komponen real dan imajiner symbol saling independent, maka jika terjadi fading yang menurunkan komponen imajiner symbol, symbol yang komponen imajinernya bernilai positif akan turun dan symbol yang komponen imajinernya negatif akan naik. Hal ini menyebabkan jarak antar symbol menjadi menyempit dan memperbesar peluang untuk error. Pada kondisi ini, CRM memiliki kelebihan karena masing-masing symbol pada konstelasi CRM memiliki nilai real dan imajiner yang berbeda, sehingga tidak ada symbol yang saling berhimpitan. Dengan fungsi *pythagoras*, dapat dihitung jarak antar symbol pada

konstelasi CRM dan QPSK biasa. Pada kondisi tanpa fading jarak antar symbol pada kedua konstelasi akan sama, namun apabila terjadi kompresi pada salah satu komponen symbol, konstelasi CRM memiliki jarak antar symbol yang lebih besar. Jarak antar symbol yang lebih besar ini memiliki peluang error yang lebih kecil. Sehingga pada kondisi kanal yang sangat buruk, CRM menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada QPSK biasa. Ilustrasi konstelasi yang mengalami fading pada komponen imajiner dapat dilihat pada gambar 4.2.

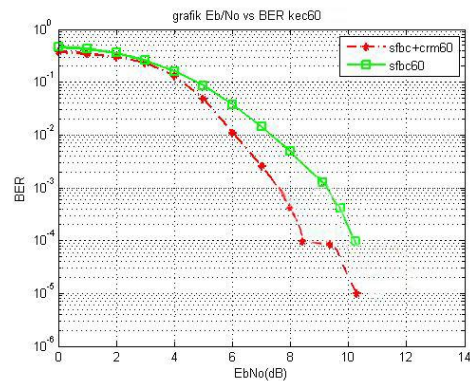


Gambar 4.2 konstelasi rotasi dan fading<sup>[11]</sup>

### B. Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan User Terhadap Kinerja Coding Rotated Modulation (CRM)

**Tabel 4.3** Parameter simulasi untuk kecepatan 60km/jam

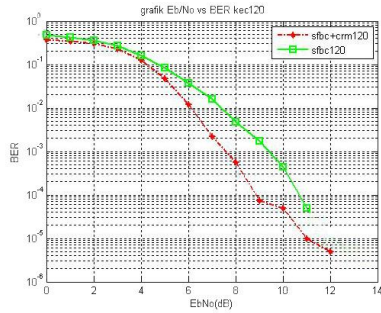
Parameter	
Mapper	QPSK
Kanal	Rayleigh
Symbol rotation	0,463648
Subcarrier	256
Kecepatan user	60 km/jam
Frekuensi Doppler	116,7 Hz



Gambar 4.3 Grafik perbandingan kinerja sistem untuk kecepatan 60 km/jam

**Tabel 4.4** Parameter simulasi untuk kecepatan 120km/jam

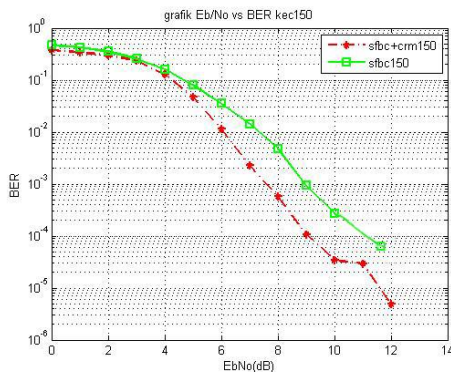
Parameter	
Mapper	QPSK
Kanal	Rayleigh
Symbol rotation	0,463648
Subcarrier	256
Kecepatan user	120 km/jam
Frekuensi Doppler	233,3 Hz



Gambar 4.4 Grafik perbandingan kinerja sistem untuk kecepatan 120 km/jam

Tabel 4.5 Parameter simulasi untuk kecepatan 150 km/jam

Parameter	
Mapper	QPSK
Kanal	Rayleigh
Symbol rotation	0,463648
Subcarrier	256
Kecepatan user	150 km/jam
Frekuensi Doppler	291,6 Hz



Gambar 4.5 Grafik perbandingan kinerja pada kecepatan 150 km/jam

Dari gambar 4.2, dapat dilihat bahwa pada kecepatan 60km/jam untuk mencapai target BER  $10^{-4}$  diperlukan Eb/No sebesar 8,34 dB untuk sistem yang menerapkan CRM dan 10,3 dB untuk sistem yang tidak menerapkan CRM. Sedangkan untuk mencapai target BER  $10^{-5}$  diperlukan Eb/No sebesar 10,27 dB untuk sistem yang menerapkan CRM dan untuk sistem yang tidak menerapkan CRM, target tidak tercapai. Pada gambar 4.3 kecepatan dinaikan pada level 120 km/jam, dan terlihat penurunan kinerja baik sistem yang menggunakan CRM maupun untuk sistem yang tidak menggunakan CRM. Masing – masing membutuhkan Eb/No sebesar 8,8 dB dan 10,74 dB untuk mencapai BER  $10^{-4}$ . Untuk target BER sebesar  $10^{-5}$  sistem dengan CRM memerlukan BER sebesar 11,1 dB dan sistem tanpa CRM tetap tidak dapat mencapainya. Penurunan kinerja juga terlihat ketika kecepatannya semakin ditambah sampai 150 km/jam. Sistem dengan CRM mencapai BER  $10^{-4}$  pada saat Eb/No sebesar 9,1 dB dan mencapai BER  $10^{-5}$  pada saat Eb/No sebesar 11,65dB. Untuk sistem tanpa

CRM BER  $10^{-4}$  tercapai saat Eb/No sebesar 11,24 dan untuk target BER  $10^{-5}$  tidak tercapai.

Dari hasil simulasi yang terlihat di gambar 4.2, 4.3 dan 4.4, kinerja sistem yang menggunakan CRM lebih baik daripada sistem yang tidak menggunakan CRM. Sistem dengan CRM memerlukan Eb/No yang lebih kecil untuk mencapai target BER yang diinginkan. CRM memutar sudut konstelasi sinyal sehingga setiap symbol QPSK tidak memiliki komponen inphase maupun quadrature yang sama. Ketika sinyal yang diterima memburuk sampai menghilangkan salah satu komponen pada symbol mappernya, CRM membuat kemungkinan errornya semakin kecil. Pada CRM juga terdapat quadrature interleaver yang mengacak urutan quadrature symbol. Pengacakan ini mencegah terjadinya error yang terjadi secara berurutan kemudian mengubahnya menjadi error yang bersifat acak.

Saat kecepatan user ditambah, terjadi penurunan kinerja sistem baik untuk sistem yang menggunakan CRM ataupun sistem yang tidak menggunakan CRM. Hal ini dikarenakan adanya efek Doppler yang dapat mengakibatkan pergeseran rentang bandwidth sinyal. Pada kecepatan 60 km/jam, 120 km/jam dan 150 km/jam frekuensi Doppler pada sistem masing – masing sebesar 116,7 Hz, 233,3 Hz, dan 291,6 Hz. Selain itu, pergerakan user juga dapat menyebabkan terjadinya efek multipath, dimana sinyal yang diterima user adalah penjumlahan dari banyak sinyal dari lintasan yang berbeda. Lintasan yang berbeda membuat setiap sinyal memiliki fasa dan gain yang berbeda pula. Kondisi terburuk dapat terjadi ketika perbedaan fasanya mencapai  $180^0$  dimana sinyal akan saling menghilangkan.

Tabel 4.6 Perbandingan kinerja sistem dengan CRM dan tanpa CRM untuk kecepatan 60 km/jam, 120 km/jam dan 150 km/jam.

Kecepatan	Target BER	SFBC + CRM (dB)	SFBC (dB)
60 km/jam	10-4	8,34	10,3
	10-5	10,27	-
120 km/jam	10-4	8,8	10,7
	10-5	11,1	-
150 km/jam	10-4	9,1	11,24
	10-5	11,65	-

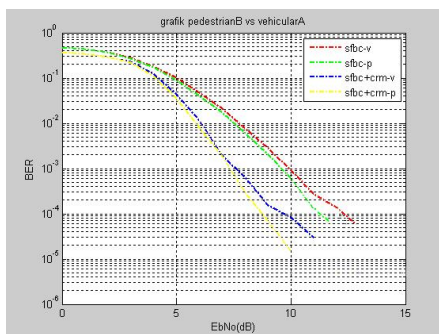
### C. Analisa pengaruh perubahan sudut rotasi terhadap kinerja CRM

Pada subbab ini menjelaskan pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja CRM. Untuk mengetahui pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja CRM, disimulasikan sistem pada dua kanal yang memiliki karakteristik *fading* yang berbeda. Yang pertama disimulasikan sistem pada kanal berkarakteristik sesuai dengan standar ITU-R *Vehicular-A*. Sistem tersebut kemudian dibandingkan dengan simulasi pada kanal berkarakteristik sesuai dengan standar ITU-R *Pedestrian-B*. sistem *Vehicular-A* dapat diaplikasikan untuk daerah urban sampai suburban sedangkan *Pedestrian-B* dapat

diaplikasikan untuk daerah dengan kepadatan pengguna yang tinggi.

Tabel 4.7 Parameter simulasi untuk lingkungan yang berbeda.

Parameter	
Mapper	QPSK
Symbol rotation	0,463648
Subcarrier	256
Kecepatan user	150 km/jam
Frekuensi Doppler	291,6 Hz
Karakteristik fading	Vehicular-A dan Pedestrian-B



Gambar 4.6 Grafik perbandingan kinerja sistem untuk karakteristik fading yang berbeda.

Dari gambar 4.5 terlihat bahwa baik untuk kondisi lingkungan sesuai standar Vehicular-A ataupun Pedestrian-B, sistem yang dilengkapi dengan CRM memiliki kinerja yang lebih baik daripada sistem yang tidak menerapkan CRM. Untuk standar Vehicular-A, sistem dengan CRM mampu mencapai BER  $10^{-4}$  dengan Eb/No sebesar 9,2 dB dan sistem tanpa CRM memerlukan Eb/No sebesar 12,3 dB. Pada model kanal ini CRM membutuhkan daya 3,1 dB lebih kecil daripada sistem yang tidak mengaplikasikannya. Untuk karakteristik kanal Pedestrian-B, sistem dengan CRM mampu mencapai BER  $10^{-4}$  dengan Eb/No sebesar 8,6 dB dan sistem tanpa CRM memerlukan Eb/No sebesar 11,2 dB. Pada model kanal ini CRM membutuhkan daya 2,6 dB lebih kecil daripada sistem yang tidak mengaplikasikannya. Terlihat bahwa walaupun pada model kanal Pedestrian-B CRM memiliki nilai Eb/No yang lebih kecil daripada model kanal Vehicular-A, namun CRM memberikan perbaikan yang lebih besar saat sistem disimulasikan dalam model kanal Vehicular-A.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari beberapa sudut rotasi yang diamati, sudut paling optimum untuk CRM ada pada sudut 0,46364 atau  $\arctan \frac{1}{2}$  dengan nilai Eb/No 8,8 pada BER  $10^{-4}$ .
2. Semakin tinggi kecepatan user, daya yang dibutuhkan untuk mencapai target BER juga semakin besar. Untuk sistem dengan CRM, daya yang dibutuhkan untuk mencapai BER  $10^{-4}$  sebesar

8,34 dB untuk kecepatan 60 km/jam, 8,8 dB untuk kecepatan 120 km/jam dan 9,1 dB untuk kecepatan 150 km/jam. Untuk mencapai BER  $10^{-5}$  dibutuhkan daya sebesar 10,27 dB untuk kecepatan 60 km/jam, 11,1dB untuk kecepatan 120 km/jam dan 11,65dB untuk kecepatan 150 km/jam. Sedangkan pada sistem yang tidak menerapkan CRM membutuhkan daya sebesar 10,3 dB untuk kecepatan 60 km/jam, 10,7dB untuk kecepatan 120 km/jam dan 11,24 dB untuk kecepatan 150 km/jam untuk mencapai BER  $10^{-4}$ . Dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan yang tinggi, penerimaan sinyal pada user memburuk karena efek Doppler dan multipath dan menyebabkan kinerja layanan menurun.

3. Pada model kanal Pedestrian-B CRM memiliki nilai Eb/No yang lebih kecil daripada model kanal Vehicular-A, namun CRM memberikan perbaikan Eb/No sistem yang lebih besar pada model kanal Vehicular-A.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 3GPP, TS 36.211 v8.9.0, "Physical Channels and Modulation", Release 8, December 2009.
- [2] 3GPP, "Overview of 3GPP Release 8 VO.2.2", January 2011.
- [3] Albert Serra, "A Long Term Evolution Link Level Simulator", Thesis, 2009.
- [4] C. Yuen, Y. Liang Guan Y, T. Thian Tjhung, 2007, "Quasi-Orthogonal Space Time Block Code", Imperial College Press, London.
- [5] Guocai Li and Yaohuan Gong, 2009, "Study on MIMO Scheme for 3G LTE Downlink" University of Electronic Science and Technology of China, China.
- [6] ITU-R M.1225 International Telecommunication Union, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-200", 1997.
- [7] Keonkook Lee and Youngok Kim, "Adaptive Switching Between STBC and SFBC OFDM Systems", IEEE 2008
- [8] Khrisnanto, Fadilla Agrivian, "Analisis Perbandingan Performansi Skema SFBC dan Skema STBC pada Sistem MIMO OFDM", IT TELKOM, Bandung 2011.
- [9] Lee, King F, "Space Time And Space Frequency Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing Transmitter Diversity Technique", Georgia Institute of Technology, 200
- [10] Luders, Christian and Schulze, Hendrik, "Theory and Application Of OFDM and CDMA". Germany : Wiley, Ltd, 2005.
- [11] Majid N. Khormuji, Umar H. Rizvi, Gerard J. M. Janssen, "Rotation Optimization for MPSK/MQAM Signal Constelation Over Rayleigh Fading Channels". The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2006.
- [12] Mehmood, Asad and Cheema, Waqas Aslam, "Channel Estimation For LTE Downlink". Thesis, Blekinge Institute of Technology, Swedia, 2009.

- [13] Rappaport, Theodore S, "wireless Communication Principles and Practices".America: Prentice-Hall, Inc,2002.
- [14] Vidyaningtyas.hurianti, "Analisis Penerapan Coding Rotated Modulation (CRM) pada Sistem OFDM", Thesis,IT TELKOM,2011.
- [15] Wu Zhanji, Du Ying, and Du Yinggang, "Proposed Text of Coding-Rotated-Modulation OFDM System for the IEEE 802.16m Amandement", IEEE,January 2009.
- [16] Wu Zhanji, Du Ying, and Du Yinggang, "Change Request of the 16m Modulation for the IEEE 802.16m SDD", IEEE, March 2009.
- [17] Zhang Wei, "Issues on Broadband Wireless Communication Systems:Channel Estimation, Frequency Synchronization andSpace-Time-Frequency Coding".Thesis, 2005.