

Analisis Unjuk Kerja *Convolutional Code* pada Sistem MIMO MC-DSSS Melalui Kanal *Rayleigh Fading*

Kadek Agus Mahabojana Dwi Prayoga¹, N.M. Ary Esta Dewi W², I.G.A.K Diafari Djuni³

Abstract— The combination of MIMO (multiple input multiple output), OFDM (orthogonal frequency division multiplexing), and spread spectrum and their channel coding technique is expected to reduce the effects of fading and the error that occurred. This study is aimed to compare the performance of MIMO MC-DSSS (multi carrier-direct sequence spread spectrum) uncoded or without channel coding and MIMO MC-DSSS Convolutional Code or convolutional channel coding through channels Rayleigh Fading in terms of value and graph BER (bit error rate) vs. Eb/No (energy per bit to noise power spectral density ratio). This study used simulation using Matlab R2015a. The results of the simulation obtained MIMO system performance MC-DSSS with Convolutional Code had better results than MIMO MC-DSSS Uncode. In the transmission channel Rayleigh Fading to peak at 10-3 BER value in MIMO MC-DSSS system with Convolutional Code required Eb / No of -7 dB. While the MC-DSSS MIMO systems required Eb / No -3 dB.

Intisari— Kombinasi antara sistem MIMO (*multiple input multiple output*), OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*), dan *spread spectrum* serta adanya teknik pengkodean kanal mampu mengurangi efek *fading* dan *error* yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan performansi dari sistem MIMO MC-DSSS (*multi carrier-direct sequence spread spectrum*) *Uncoded* atau tanpa pengkodean kanal dan MIMO MC-DSSS *Convolutional Code* atau dengan pengkodean kanal *Convolutional* yang melalui kanal *Rayleigh Fading*, ditinjau dari nilai dan grafik BER (*bit error rate*) berbanding Eb/No (*energy per bit to noise power spectral density ratio*). Penelitian ini menggunakan metode simulasi dengan menggunakan program Matlab R2015a. Hasil dari simulasi didapat unjuk kerja sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* memiliki hasil yang lebih baik dari MIMO MC-DSSS. Pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* untuk mencapai nilai BER sebesar 10-3 pada sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* dibutuhkan Eb/No sebesar -7 dB. Sedangkan pada sistem MIMO MC-DSSS dibutuhkan Eb/No sebesar -3 dB.

Kata Kunci— MIMO, OFDM, Spread Spectrum, MC-DSSS, Convolutional Code, Rayleigh Fading.

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: mahabojanadwi@yahoo.co.id)

^{2, 3} Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: dewi.wirastuti@ee.unud.ac.id)

I. PENDAHULUAN

Kombinasi teknologi MIMO dan MC-DSSS merupakan salah satu teknologi yang digunakan dalam mewujudkan layanan komunikasi yang cepat dan baik pada komunikasi *wireless*

Multi carrier direct sequence spread spectrum menawarkan efisiensi spectral, ketahanan terhadap gangguan dan fleksibilitas [1]. MC-DSSS dikenal juga sebagai OFDM-DSSS (*orthogonal frequency division multiplexing – direct sequence spread spectrum*).

OFDM merupakan teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier* satu dengan yang lain saling *orthogonal*. Karena sifat *orthogonal* ini, maka antar *subcarrier* dibuat *overlapping* tanpa menimbulkan efek ICI (*inter carrier interference*). Dengan *multiplexing subcarrier* yang dilakukan secara overlap tersebut tentu saja dapat menghemat *bandwidth*. Proses yang dilakukan sama dengan teknik modulasi *multicarrier*, yang membedakan hanya pada penggunaan *subcarrier* yang saling *orthogonal* pada masing-masing subkanal [2].

Masalah gangguan pada kanal atau multipath fading pada jaringan *wireless* dapat diatasi dengan sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Hal tersebut bertujuan untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga saling mendukung atau tidak saling menggagalkan [3]. Prinsip kerja MIMO adalah memperbanyak sinyal informasi yang dipancarkan untuk meningkatkan kemampuan komunikasi dan mengurangi *error* yang dapat terjadi akibat kanal transmisi.

Untuk mengurangi noise dalam teknologi telekomunikasi *wireless*, perlu adanya sebuah teknik pengkodean kanal untuk mendapat nilai *Quality of Service* (QoS) yang diharapkan [4]. Kombinasi MIMO dengan MC-DSSS menggunakan pengkodean kanal *Convolutional* diharapkan dapat menghasilkan sistem yang lebih baik dengan menggabungkan keunggulan masing-masing sistem.

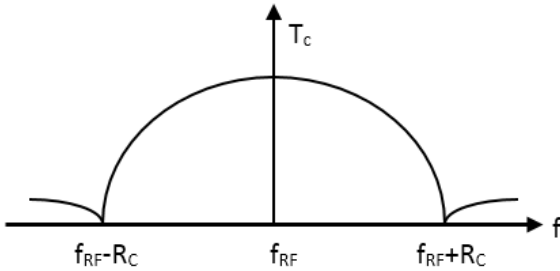
Jadi pada penelitian ini, akan melakukan simulasi unjuk kerja dari sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* dan MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* pada kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*. Kemudian membandingkan unjuk kerja dari masing-masing sistem untuk mengetahui sistem mana yang memiliki unjuk kerja yang paling baik.

II. MIMO MC-DSSS CONVOLUTIONAL CODE DAN RAYLEIGH FADING

A. Direct Sequence Spread Spectrum

Direct sequence merupakan teknik *spread spectrum* yang mempunyai data rate yang tinggi. *Direct sequence* menggunakan kode unik untuk menebarkan sinyal *baseband* yang akan dimodulasi digital bersama sinyal informasi. Prinsip Kerja DSSS adalah menebarkan sinyal informasi

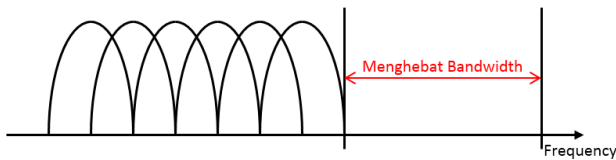
sinyal informasi dengan sinyal acak yang dihasilkan oleh *pseudo random*. Sehingga akan menghasilkan sinyal baru dengan lebar periode sinyal yang sama dengan *pseudo noise*. Kemudian sinyal tersebut dimodulasi terlebih dahulu sebelum dipancarkan melalui antenna [5].



Gambar 1 : Blok teknik *Direct sequence spread spectrum*

B. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM merupakan teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling *orthogonal* atau tegak lurus. Pada teknik transmisi OFDM data dialirkan ke beberapa *subcarrier* yang saling *orthogonal* atau saling *overlapping* tanpa menimbulkan ICI (*inter carrier interference*) [6].



Gambar 2 : Efisiensi *bandwidth* menggunakan teknik OFDM

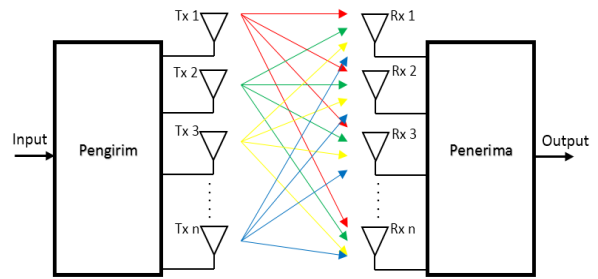
Pada Gambar 2 menunjukkan teknik OFDM yang mampu memberikan efisiensi dalam penggunaan *bandwidth* hingga mencapai 50% karena teknik OFDM memperbolehkan adanya *overlapping* tanpa adanya interferensi.

C. MIMO (Multiple Input Multiple Output)

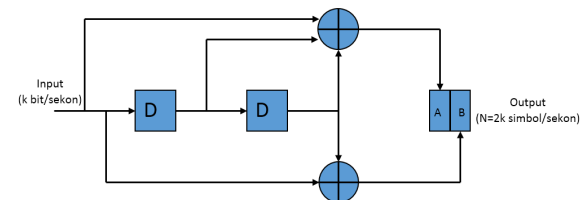
MIMO merupakan suatu teknik pada sistem komunikasi *wireless* yang menggunakan lebih dari satu antenna di sisi pengirim M dan lebih dari satu antenna di sisi penerima N , dengan $M \geq N$. Setiap antenna akan mengirimkan informasi yang berbeda secara independen dan simultan dalam band frekuensi yang sama. Sistem MIMO diharapkan dapat mengurangi *fading* dan interferensi dari user lain, meningkatkan *reliability*, meningkatkan throughput tanpa perlu meningkatkan *bandwidth*, mengurangi daya transmit [7]. Teknik MIMO dapat dilihat pada Gambar3.

D. Convolutional Code

Convolutional Code adalah jenis kode yang memiliki perbedaan mendasar dari *block code* dimana urutan bit informasi tidak dikelompokkan dalam blok-blok yang berbeda sebelum dikodekan. Proses yang terjadi adalah bit informasi sebagai masukan secara kontinu di *mapping* kedalam urutan bit *output encoder* [8].



Gambar 3 : Teknik MIMO



Gambar 4 : *Convolutional Encoder* sederhana

Pada Gambar 4 dapat dilihat *encoder* tersebut terdiri dari $K-1$ buah *shift register* dan n buah *adder modulo-2*. Parameter K dikenal dengan *constraint length*. Banyaknya bit yang dimasukkan ke dalam *shift register encoder* dinotasikan dengan k . Laju kode biasanya dinyatakan dengan k/n . Contoh gambar 2 menunjukkan *encoder* dengan laju $1/2$, yaitu setiap 1 bit yang masuk, dihasilkan 2 bit keluaran (disebut dengan *codeword*). Generator polynomial didefinisikan sebagai *respons* impuls terhadap memori register *encoder*, atau dengan kata lain menggambarkan bagian memori register yang dikoneksikan ke setiap *adder*.

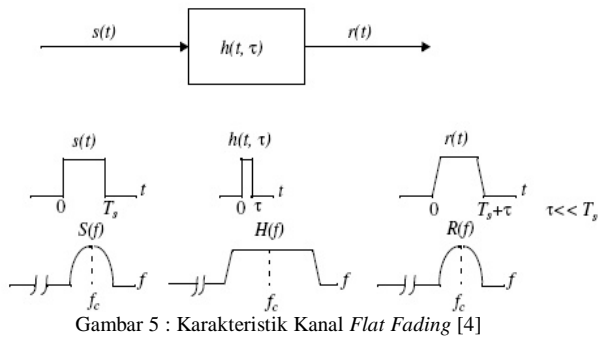
E. AWGN (Additive White Gaussian Noise)

AWGN merupakan *noise* yang berada dan terjadi pada kanal rentang spektrum frekuensi dan merupakan *noise thermal* yang sifatnya menjumlah [8]. *Noise* ini terdiri dari seluruh frekuensi dalam spektralnya sebagai cahaya putih yang memiliki rapat *spectral* daya yang konstan.

F. Flat Fading

Flat Fading dapat terjadi apabila kanal mempunyai penguatan yang konstan dan tanggapan fase linier dengan *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan. Pada kondisi ini, level sinyal yang diterima berubah terhadap waktu yang disebabkan oleh multipath [7]. Karakteristik kanal *flat fading* dapat dilihat pada Gambar 5.





Gambar 5 : Karakteristik Kanal Flat Fading [4]

Pada umumnya distribusi amplitudo pada flat fading mengikuti distribusi Rayleigh. Model kanal flat fading Rayleigh mengasumsikan bahwa amplitudo dari kanal bervariasi terhadap waktu sesuai dengan distribusi Rayleigh. Kanal flat fading mempunyai kriteria seperti persamaan 1 berikut [7].

$$TS > \sigma\tau \tag{1}$$

Dengan, TS adalah periode simbol, dan $\sigma\tau$ adalah rms delay spread.

G. Distribusi Rayleigh

Distribusi Rayleigh biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal flat fading yang diterima, atau selubung dari satu komponen multipath telah diasumsikan sebelumnya menjadi distribusi Rayleigh.

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \tag{2}$$

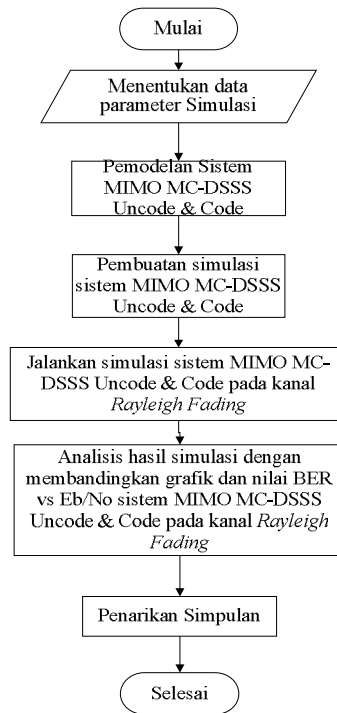
Distribusi Rayleigh digunakan untuk mendeskripsikan keadaan pada suatu kanal. Distribusi Rayleigh memiliki fungsi kerapatan probabilitas atau probability density function (pdf) pada persamaan 2.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi dimana bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari Convolutional code pada sistem MIMO MC-DSSS melalui kanal Rayleigh Fading. Simulasi yang akan dilakukan pertama yaitu dengan menjalankan sistem MIMO MC-DSSS tanpa menggunakan pengkodean kanal, kemudian menjalankan simulasi sistem MIMO MC-DSSS yang menggunakan pengkodean kanal Convolutional. Selanjutnya membandingkan unjuk kerja dari kedua sistem tersebut.

A. Alur Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dimulai dengan melakukan pemodelan sistem dalam software Matlab R2015a. Hasil dari simulasi yang dilakukan pada software Matlab R2015a berupa grafik dan nilai BER berbanding Eb/No yang kemudian akan analisis. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 : Alur Penelitian

B. Parameter Simulasi

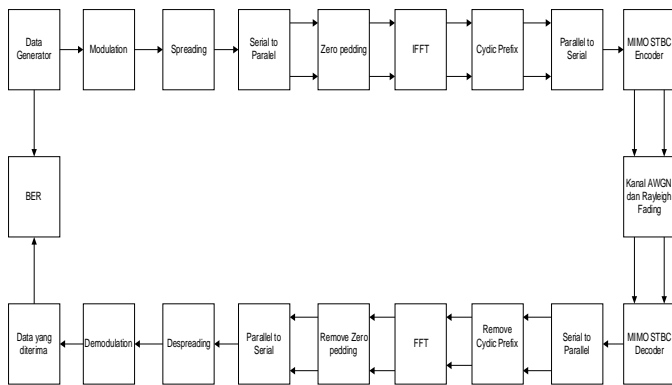
Adapun parameter simulasi yang digunakan dalam pemodelan sistem MIMO MC-DSSS Uncode dan sistem MIMO MC-DSSS Code menggunakan teknik pengkodean Convolutional code dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
PARAMETER SIMULASI

Parameter	Nilai yang digunakan
Panjang simbol OFDM	64
Jumlah subcarrier	52
Jumlah simbol FFT	64
Tipe modulasi	QPSK
Zero Padding	14
Guard interval type	Cyclic prefix
Panjang cyclic prefix	16
Jumlah bit per OFDM simbol	50
Jenis spreading code	PN Code
Spreading factor	15
User type	Single user
MIMO type	STBC 2x2
Nilai Eb/No	-10 : 1 : 10
Jumlah bit yang input	65000 bit (random)
Laju kode (R)	1/2 bit per simbol
Constraint Length (K)	3 bit
Tipe Dekoder	Viterbi

C. Pemodelan Sistem MIMO MC-DSSS Uncode

Pada penelitian ini, pemodelan sistem MC-DSSS dikombinasikan dengan teknik MIMO STBC 2x2 pada kanal Rayleigh Fading dapat dilihat pada Gambar 7.



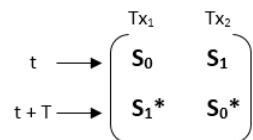
Gambar 7 : Blok Pemodelan Sistem MIMO MC-DSSS Uncode

1. Pembangkitan Data Generator

Pembangkitan data masukan dilakukan secara acak (*random*). Data yang dibangkitkan berjumlah 65.000 bit dalam bentuk biner “1” dan “0” untuk mendekati keadaan transmisi data pada kondisi sesungguhnya.

2. Pemancar MIMO dan MC-DSSS Uncode

Pada pemancar MC-DSSS terdapat beberapa blok tahapan dimulai dari blok dimodulasi dimana teknik modulasi yang digunakan yaitu QPSK, namun sebelum dimodulasi harus dilakukan *mapping* menjadi konstelasi kanal I dan Q untuk menghasilkan 2 bit per simbol untuk dimodulasikan. Hasil modulasi tadi masuk kedalam blok *spreading*. Dalam blok *spreading* ini data hasil modulasi yang mengalami proses *spreading* akan berubah dari bentuk *serial* ke *parallel*. Selanjutnya masuk kedalam blok penambahan *zero padding*. Penambahan *zero padding* bertujuan untuk menambah durasi sinyal OFDM yang terbentuk. Kemudian blok *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) yang bertujuan mengubah dari domain frekuensi ke domain waktu dan untuk menghasilkan frekuensi *carrier* yang saling *orthogonal*. Penambahan *Guard Interval* (GI) pada simulasi ini menggunakan tipe *Cyclic Prefix* (CP). Penempatan CP disisipkan di depan simbol data masukan yang akan ditransmisikan. Tujuan dari penambahan GI adalah untuk mencegah terjadinya *Inter Symbol Interference* (ISI) dan *Inter Carrier Interference* (ICI) sehingga simulasi dapat berjalan dengan baik. Selanjutnya pada blok *encoder STBC* memiliki fungsi untuk pengiriman data yang berbentuk serial kedalam kedua antenna pengirim (Tx). Adapun pembagian data dalam proses pengiriman menggunakan teknik MIMO STBC 2x2 ini dijabarkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 : Skema Transmisi STBC Alamouti

Dimana S_0 dan S_1 merupakan simbol sinyal yang dikirim sedangkan $-S_1^*$ dan S_0^* merupakan bentuk operasi konjugat. Pengiriman sinyal dibagi menjadi t dan $t+T$, dimana pada saat t , Tx1 mengirimkan sinyal S_0 dan Tx2 mengirimkan sinyal S_1 . Kemudian saat $t+T$, Tx1 akan mengirimkan sinyal $-S_1^*$ dan Tx2 mengirimkan sinyal S_0^* .

3. Kanal Transmisi

Kanal transmisi dalam simulasi ini menggunakan kanal AWGN dan kanal Rayleigh Fading yang ditambahkan dengan *noise* AWGN.

4. Penerima MIMO dan MC-DSSS Uncode

Pada blok MIMO STBC Decoder memiliki fungsi untuk mendekodingkan kembali data yang telah diterima oleh antenna penerima. Selanjutnya dilakukan proses *combining* pada *combiner*. Pada *combiner* dilakukan proses estimasi dari nilai S_0 dan S_1 yang dikirim dengan *combining* pada *decoder STBC* untuk mendapatkan nilai \hat{S}_0 dan \hat{S}_1 . Kemudian dilanjutkan ke proses pendeteksian *Maximum Likelihood Detection*. Pada sisi penerima MC-SS, data dari blok MIMO STBC decoder diubah bentuknya dari *serial* ke *parallel*. Setelah itu *cyclic prefix* yang terdapat di dalam data yang diterima dihilangkan. Selanjutnya adalah proses *Fast Fourier Transform* (FFT) yang mengubah data diterima dari domain waktu ke domain frekuensi. Blok selanjutnya adalah menghilangkan bit-bit nol *zero padding*. Setelah itu data akan mengalami proses *despreading*, dimana dari hasil *despreading* ini data yang berbentuk *parallel* akan kembali ke bentuk *serial*. Setelah itu data akan didemodulasi QPSK. Hasil demodulasi kemudian di *demapping* untuk mendapatkan bit keluaran.

5. Perbandingan BER Sistem MIMO MC-DSSS Uncode

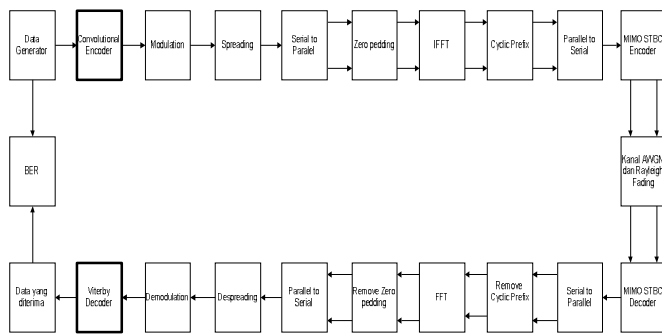
Setelah mendapatkan data keluaran dari sistem MIMO MC-DSSS maka selanjutnya dilakukan perbandingan antara bit yang dikirimkan dan bit yang diterima untuk mendapatkan nilai BER (*bit error rate*) yang kemudian dibandingkan dengan Eb/No.

D. Pemodelan Sistem MIMO MC-DSSS Convolutional Code

Pemodelan sistem MIMO MC-DSSS Code dengan menggunakan teknik pengkodean *Convolutional code* dimana pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 9 yang masing-masing bloknnya telah dijelaskan sebelumnya.

Pada pemodelan simulasi sistem MIMO MC-SS Code dengan menggunakan teknik pengkodean *Convolutional code* terdapat penambahan blok *Convolutional encoder* pada awal transmisi dan blok *Viterbi decoder* pada akhir transmisi.





Gambar 9 : Blok Pemodelan Sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code*

1. *Convolutional Encoder*

Pada blok *encoder*, bit-bit keluaran bergantung dari laju kode yang digunakan. Peneliti ini menggunakan laju kode $\frac{1}{2}$, jadi setiap 1 bit yang masuk, dihasilkan 2 bit keluaran.

2. *Viterbi Decoder*

Proses dekoding dapat disamakan dengan membandingkan deretan bit yang diterima dengan semua kemungkinan bit terkode, dari proses perbandingan tersebut akan dipilih bit yang paling mirip antara deretan bit yang diterima dengan kemungkinan deretan bit-bit yang ada. Pada blok ini hasil demodulasi akan dikodekan kembali menggunakan algoritma Viterbi mencari kemungkinan bit yang paling mirip, sehingga mendapatkan bit keluaran.

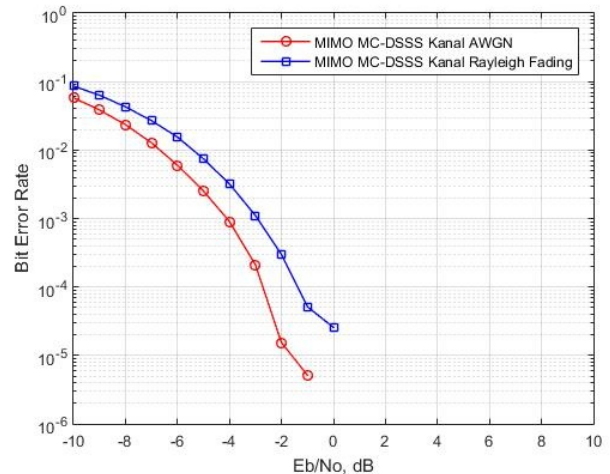
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Sistem MIMO MC-DSSS *Uncode*

Simulasi sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* dilakukan mengikuti pemodelan sistem MIMO MC-DSSS pada Gambar 7. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* berdasarkan parameter BER vs Eb/No. Grafik unjuk kerja sistem MIMO MC-DSSS pada kanal AWGN dan *Rayleigh Fading* ditunjukkan pada Gambar 10.

Berdasarkan pada Gambar 10, pada sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan Eb/No sebesar -4 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* dibutuhkan Eb/No sebesar -3 dB.

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa pada kanal transmisi AWGN memiliki nilai BER lebih kecil dari kanal transmisi *Rayleigh Fading*. Hal itu karena pemodelan AWGN tidak melewatkan data yang dikirimkan pada sebuah kanal atau saluran komunikasi yang memiliki efek *fading*, melainkan hanya menambahkan pengaruh noise AWGN dalam proses transmisi antara pengirim dan penerima.

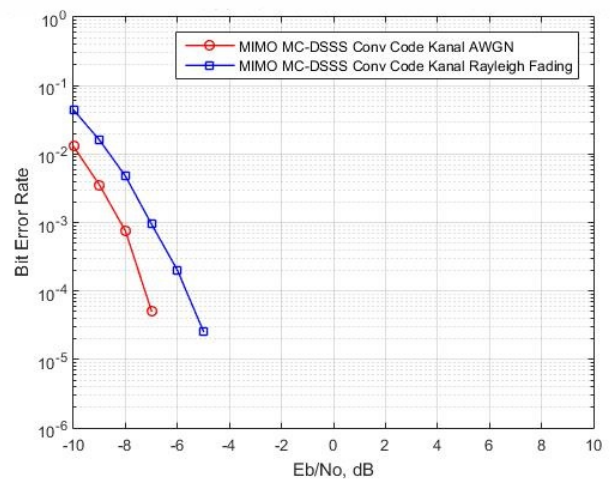


Gambar 10 : Unjuk kerja sistem MIMO MC-DSSS *Uncode*

B. Hasil Simulasi Sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code*

Simulasi sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* dilakukan mengikuti pemodelan sistem MIMO MC-DSSS *Convolutional Code* pada Gambar 9. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem MIMO MC-DSSS dengan menggunakan pengkodean kanal *Convolutional* pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* berdasarkan parameter BER vs Eb/No. Grafik unjuk kerja sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* pada kanal transmisi AWGN dan *Rayleigh Fading* ditunjukkan pada Gambar 11.

Berdasarkan pada Gambar 11, pada sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan Eb/No sebesar -8 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* dibutuhkan Eb/No sebesar -7 dB.



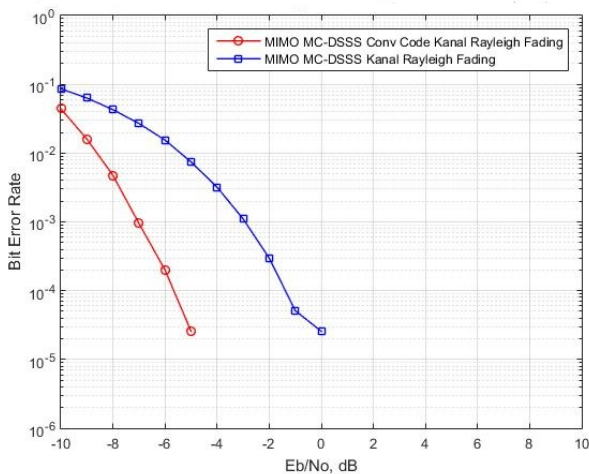
Gambar 11 : Unjuk kerja sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code*

Dapat dilihat pada Gambar 11 kanal transmisi *Rayleigh Fading* memiliki nilai BER lebih besar dari kanal transmisi

AWGN. Hal ini dikarenakan pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* data yang dikirimkan tidak hanya melewati kanal atau saluran komunikasi yang memiliki efek *fading* saja, melainkan ada penambahan noise AWGN dalam proses transmisi antara pengirim dan penerima.

C. Perbandingan Unjuk Kerja Sistem MIMO MC-DSSS Uncode dengan MIMO MC-DSSS Convolutional Code

Perbandingan antara hasil simulasi sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* dan MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* berdasarkan parameter BER vs Eb/No. Grafik dari perbandingan sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* dan MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 : Perbandingan MIMO MC-DSSS *Uncode* dengan MIMO MC-DSSS *Convolutional Code*

Berdasarkan pada Gambar 12, pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} pada sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* dibutuhkan Eb/No sebesar -7 dB. Sedangkan pada sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* dibutuhkan Eb/No sebesar -3 dB.

Hasil perbandingan simulasi didapatkan bahwa kinerja sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* memiliki unjuk kerja yang lebih baik dari pada sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* pada kanal transmisi *Rayleigh Fading*. Hal ini disebabkan karena dengan penambahan *Convolutional Code* terdapat bit *redundancy* (bit tambahan) yang ditambahkan ke dalam data yang akan ditransmisikan agar menjaga data dari *error* yang mungkin terjadi selama proses transmisi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Pada unjuk kerja sistem MIMO MC-DSSS *Uncode*, kanal transmisi AWGN memiliki nilai BER yang lebih rendah dari kanal transmisi *Rayleigh Fading*. Untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan Eb/No sebesar -4 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* dibutuhkan Eb/No sebesar -3 dB.
2. Pada unjuk kerja sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code*, kanal transmisi AWGN memiliki nilai BER yang lebih rendah dari kanal transmisi *Rayleigh Fading*. Untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} pada kanal transmisi AWGN dibutuhkan Eb/No sebesar -8 dB. Sedangkan pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* dibutuhkan Eb/No sebesar -7 dB.
3. Pada perbandingan unjuk kerja dari sistem MIMO MC-DSSS *Uncode* dan MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* didapat unjuk kerja dari sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* lebih baik. Pada kanal transmisi *Rayleigh Fading* untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} pada sistem MIMO MC-DSSS dengan *Convolutional Code* dibutuhkan Eb/No sebesar -7 dB. Sedangkan pada sistem MIMO MC-DSSS dibutuhkan Eb/No sebesar -3 dB.

REFERENSI

- [1] K. Fazel and S. Kaiser, *Multi-carrier and Spread Spectrum Systems*, 2nd ed., Ericsson GmbH, Germany, DOCOMO Communications Laboratories Europe GmbH: Germany, 2008.
- [2] T. B. Purwanto, Analisis Unjuk Kerja Teknik MIMO STBC dan V-Blast Pada Sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran: Bali, 2015.
- [3] M. L. Hakim, Analisis Kinerja Sistem MIMO-OFDM Pada Kanal *Rayleigh* dan AWGN Dengan Modulasi QPSK, Teknik Elektro Universitas Diponegoro: Semarang, 2010.
- [4] F. J. H. Utomo, Analisis Unjuk Kerja *Coded-OFDM* Melalui Kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran: Bali, 2015.
- [5] N. A. Haryadi, Suwadi, dan T. Suryani, "Implementasi *Direct Sequence Spread Spectrum* pada DSK TMS320C6416T," JURUSAN TEKNIK POMITS., vol. 3, ISSN. 2337-3539, 2014.
- [6] T. B. Purwanto, N. M. A. E. D. Wirastuti, dan I. G. A. K. D. D. Hartawan, "Analisis Unjuk Kerja Teknik MIMO Pada Sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*," E-Journal SPECTRUM., vol. 2, No. 2, Juni 2015.
- [7] K. Syahgustina, Simulasi dan Analisa Kinerja Sistem MIMO OFDM-FDMA Berdasarkan Alokasi *Subcarrier*, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia: Depok, 2009.
- [8] F. L. H. Utomo, N. M. A. E. D. Wirastuti, dan I. G. A. K. D. D. Hartawan, "Analisis Unjuk Kerja *Coded OFDM* Menggunakan Kode *Convolutional* Pada Kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*," E-Journal SPECTRUM., vol. 2, No. 2, Juni 2015.

