

PERBANDINGAN PERFORMANSI SISTEM MC-SS MIMO DENGAN OFDM MIMO

N.P.E.A. Yuniari¹, N.M.A.E.D. Wirastuti², I.G.A.K.D.D. Hartawan³

Abstract— The combination of the system has been doing to improve the reliability of wireless communication. One parameter that indicates the reliability of wireless communication is to reduce the value of BER. The 4G technology uses OFDM transmission technique combined with MIMO antenna technique. Other than that, the combination between transmission technique can also be done, by incorporating the concept of multicarrier OFDM and spread spectrum as known as multicarrier spread spectrum (MC-SS). The combination of OFDM, spread spectrum, and MIMO are supported by the advantages of each of these techniques is expected to give a good performance in supporting the reliability of wireless communication. This research aimed to compare the value of BER vs. Eb/No between MC-SS MIMO system and OFDM MIMO system. The test of these systems are conducted by simulation using MatLab 2012 which aims to provide an overview of other related technologies are capable of providing wireless communication reliability. The results of the simulation shows that the value of BER on MC-SS MIMO system is lower than MIMO OFDM system for all Eb/No. This condition also applies to AWGN and Rayleigh Fading channel.

Intisari— Kombinasi sistem dilakukan untuk meningkatkan kehandalan komunikasi *wireless*. Salah satu parameter yang menunjukkan kehandalan komunikasi *wireless* adalah dengan mengurangi nilai BER. Pada teknologi 4G menggunakan kombinasi teknik transmisi OFDM dengan teknik antena MIMO. Selain daripada itu, kombinasi antar teknik transmisi juga dapat dilakukan, yaitu dengan menggabungkan konsep *multicarrier* OFDM dengan *spread spectrum* yang selanjutnya dikenal dengan *multicarrier spread spectrum* (MC-SS). Kombinasi antara OFDM, *spread spectrum*, dan MIMO yang didukung oleh kelebihan dari masing-masing teknik tersebut diharapkan mampu memberikan performansi yang baik dalam mendukung kehandalan komunikasi *wireless*. Dalam *paper* ini akan dibandingkan performansi menurut BER vs. Eb/No dari sistem MC-SS MIMO dengan OFDM MIMO.

Pengujian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak MatLab yang bertujuan untuk memberikan gambaran terkait teknologi lain yang mampu memberikan kehandalan komunikasi *wireless*. Dalam hasil simulasi didapatkan bahwa nilai BER pada sistem MC-SS MIMO lebih rendah dibandingkan dengan sistem OFDM MIMO untuk semua nilai Eb/No baik pada kanal AWGN maupun *Rayleigh Fading*.

Kata Kunci— BER, Eb/No, Kehandalan, MIMO, OFDM, *spread spectrum*

I. PENDAHULUAN

Teknologi untuk jaringan *wireless* kian berkembang. Misalnya, pada *mobile communication* generasi keempat (4G), jaringan *wireless* mengadopsi kombinasi sistem antara teknik transmisi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) dengan teknik MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Tujuannya adalah untuk meningkatkan *data rate* dan terlebih lagi adalah mengatasi efek *fading* dari kanal sehingga kehandalan komunikasi *wireless* tercapai.

Kombinasi antar teknik transmisi juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kehandalan komunikasi *wireless*. Sejak tahun 1993, telah diperkenalkan kombinasi antara teknik transmisi *spread spectrum* dengan *multi carrier* yang selanjutnya dikenal dengan MC-SS [1]. *Multi carrier* sendiri merupakan konsep dari teknik transmisi OFDM [2].

Masing-masing teknik transmisi OFDM dan *spread spectrum* memiliki kelebihan. Teknik transmisi OFDM dapat mengatasi efek ISI (*Inter Symbol Interference*) serta memiliki *datarate* yang tinggi [3]. Teknik transmisi *spread spectrum* memiliki kekebalan terhadap distorsi *multipath*, perencanaan frekuensi yang sederhana, fleksibilitas tinggi, dan tahan terhadap interferensi [1].

Teknik MIMO juga mampu mengatasi masalah gangguan *multipath fading* pada jaringan *wireless*. Teknik ini menggunakan beberapa antena pengirim dan penerima yang bertujuan untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga saling mendukung [3].

Dengan kelebihan yang dimiliki oleh masing-masing teknik OFDM, *spread spectrum* dan MIMO, untuk itu dilakukan kombinasi ketiga teknik tersebut menjadi sistem MC-SS MIMO. Kombinasi sistem MC-SS MIMO perlu diuji kehandalan performansinya melalui perbandingan dengan kombinasi sistem yang sudah ada yaitu OFDM MIMO. Penilaian performansi kedua sistem tersebut selanjutnya ditentukan dengan nilai BER (*Bit Error Rate*) berbanding Eb/No (*Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio*)

¹Mahasiswa Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax. 0361703315; email: ekaapsari97@gmail.com

²Dosen Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax. 0361703315; email: dewi.wirastuti@ee.unud.ac.id

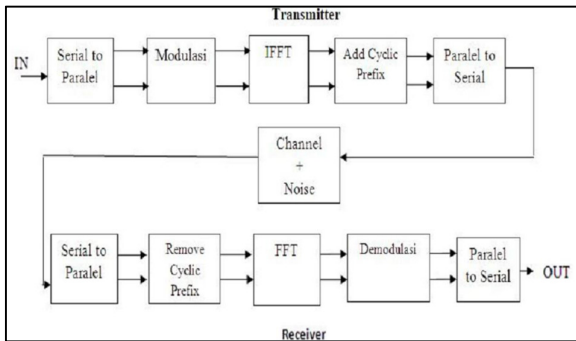
³Dosen Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax. 0361703315; email: igak.diafari@ee.unud.ac.id



II. TINJAUAN PUSTAKA

A. OFDM

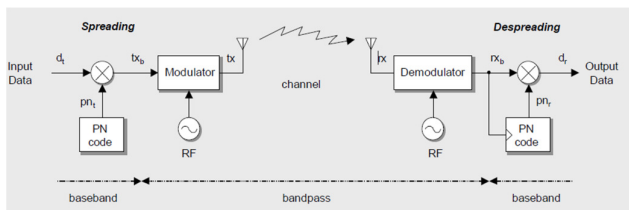
OFDM adalah bentuk khusus dari *multicarrier modulation* yang membagi aliran data dengan kecepatan tinggi ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan melalui beberapa *subcarrier*. Pada OFDM, data masukan dialirkan ke beberapa *subcarrier* paralel yang saling *orthogonal* dengan laju data yang lebih rendah. *Subcarrier* tidak ditempatkan berdasarkan *bandwidth* yang ada, tetapi disusun untuk saling *overlapping* dan diatur jarak antara *subcarrier* agar memiliki sifat yang *orthogonal* [4]. Sistem OFDM sederhana ditunjukkan pada blok diagram Gambar 1:



Gambar 1: Blok Diagram OFDM

B. Spread Spectrum

Proses *direct sequence spread spectrum* ditunjukkan pada blok diagram 2:



Gambar 2: Blok Diagram Direct Sequence Spread Spectrum

Keterangan dari *building block* sistem DSSS pada Gambar 2 tersebut adalah sebagai berikut.

1) *Input*: Binary data d_t dengan *symbol rate* $R_s = 1/T_s$ (=bitrate R_b untuk BPSK). *Pseudo-noise code* pn_t dengan *chip rate* $R_c = 1/T_c$ [5].

2) *Spreading*: Pada transmitter (tx_b), binary data (d_t) (untuk BPSK, I dan Q untuk QPSK) secara langsung dikalikan dengan *PN sequence* (pn_t) yang terpisah dari *baseband* yang binary data, untuk memproduksi sinyal *baseband* yang ditransmisikan tx_b [5]. Proses perkalian tersebut mengacu pada (1).

$$tx_b = dt \cdot pn_t \tag{1}$$

Efek dari perkalian dt dengan *PN sequence* adalah untuk menyebarkan *baseband bandwidth* R_b dari d_t ke *baseband bandwidth* R_c [5].

3) *Despreading*: Sinyal *Spread Spectrum* tidak bias

dideteksi dengan penerima *narrowband* konvensional. Pada *receiver*, sinyal *baseband* rx_b yang diterima dikalikan dengan *PN sequence* pn_r [5].

Jika $pn_r = pn_t$ dan disinkronisasi ke *PN sequence* pada data yang diterima, kemudian *binary* data yang dipulihkan diproduksi pada d_r akibat perkalian dari sinyal *spread spectrum* rx_b dengan *PN sequence* pn_r digunakan pada transmitter adalah untuk *despread bandwidth* rx_b ke R_s [5].

Jika $pn_r \neq pn_t$, kemudian tidak terjadi *despread*. Sinyal d_r memiliki *spread spectrum*. Penerima tidak mengetahui *PN sequence* dari transmitter sehingga tidak bisa memproduksi kembali data yang telah dikirim [5].

C. Walsh-Hadamard Code

Kode Hadamard-Walsh dibangkitkan dalam aturan kode $N = 2^n$ dengan panjang $N = 2^n$. Pembangkitan *code* ini memiliki algoritma yang sangat sederhana [5] yaitu mengacu pada (2),

$$H_2 = \begin{bmatrix} H_{N/2} & H_{N/2} \\ H_{N/2} & -H_{N/2} \end{bmatrix} \tag{2}$$

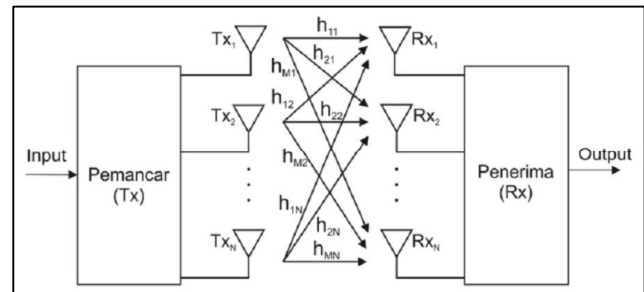
dengan $H_1 = [1]$

Baris atau kolom dari matriks H_N adalah kode Hadamard-Walsh seperti yang ditunjukkan berikut ini [5].

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

D. MIMO

Prinsip kerja MIMO adalah memperbanyak sinyal informasi yang dipancarkan untuk meningkatkan kemampuan komunikasi dan mengurangi *error* yang dapat terjadi akibat kanal transmisi [4].



Gambar 3: Skema Antena MIMO

Persamaan 3 merupakan representasi dari sistem MIMO [4] yang ditunjukkan pada Gambar 3,

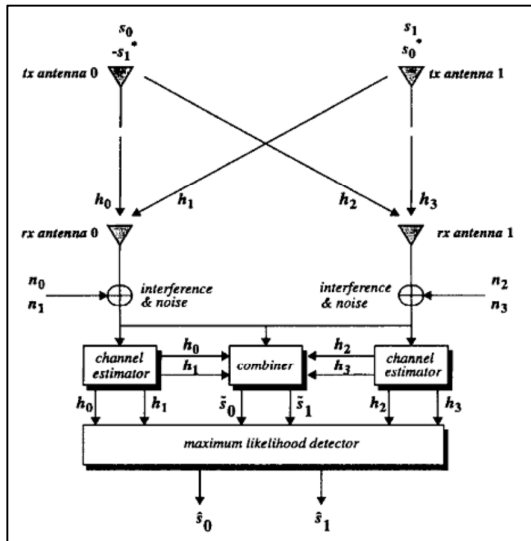
$$y = h \cdot x + n \tag{3}$$

dimana, y merupakan vektor sinyal yang diterima, h merupakan matrix respon impuls kanal dari N jumlah antena pemancar dan M jumlah antena penerima ($N \times M$), s menyatakan vektor sinyal yang ditransmisikan, dan n menyatakan vektor *noise* AWGN [4].

E. Space Time Block Code

Sistem STBC ini akan mengirimkan dua simbol yang berbeda secara bersamaan. Pada saat waktu t , antena pertama

(Tx1) akan mengirimkan sinyal S_0 dan antenna kedua (Tx2) mengirimkan sinyal S_1 . Diasumsikan bahwa S_0 dan S_1 merupakan simbol yang telah dimodulasi. Kemudian pada saat waktu $t + T$, simbol dari masing-masing antenna pemancar dikonjugat sehingga pada antenna pertama (Tx0) akan mengirimkan sinyal $-$ dan pada antenna (Tx1) mengirimkan sinyal $+$ [4] seperti yang ditunjukkan Gambar 4:

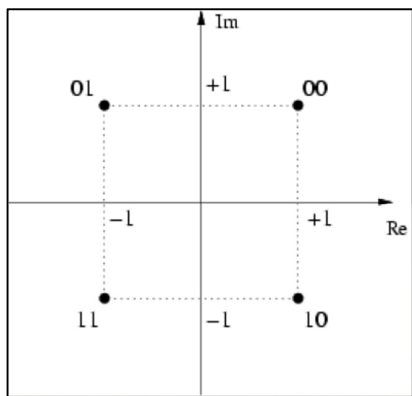


Gambar 4: Skema Antena MIMO STBC 2x2

F. Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying*

QPSK merupakan teknik pengkodean M-ary dimana $M = 4$ (*quaternary*). Dalam modulasi QPSK terdapat empat fase keluaran dari sinyal pembawa untuk menyatakan empat simbol. Satu simbol QPSK terdiri dari 2 buah bit yaitu “00”, “01”, “10”, dan “11”. Setiap satu simbol akan mengalami perubahan fasa sebesar 90° ($\pi/2$) [4].

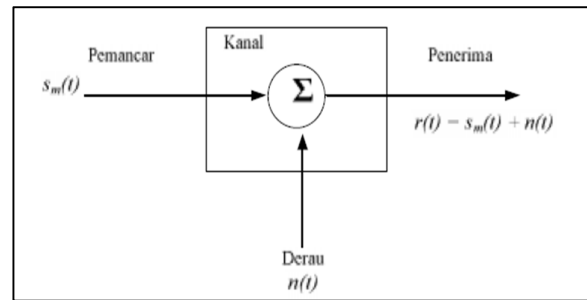
Pada Gambar 5 dapat dilihat untuk konstelasi 00, pada Re channel (I) = +1 dan Im channel (Q) = +1. Untuk konstelasi 01, Re (I) = -1, dan Im (Q) = +1. Untuk konstelasi 11, untuk saluran Re (I) = -1 dan Im (Q) = -1. Untuk konstelasi 10, untuk Re (I) = +1 dan Im (Q) = -1. Setiap nilai konstelasi 1 dan -1 disimbolkan dengan 0.7071 dan -0.7071 [5].



Gambar 5: Mapping Simbol QPSK

G. *Additive White Gaussian Noise*

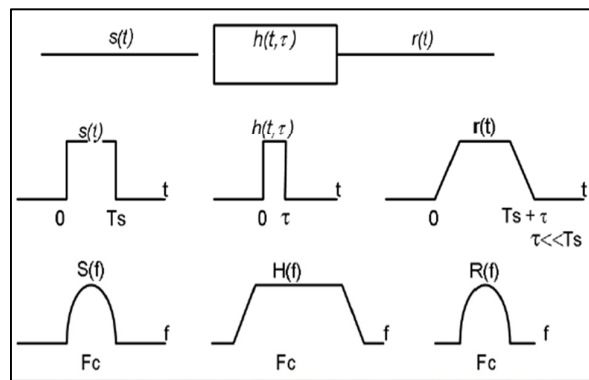
AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) mempunyai karakteristik respon frekuensi yang sama sepanjang frekuensi dan variannya sama dengan satu. Pada kanal transmisi selalu terdapat penambahan *noise* yang timbul karena akumulasi *noise termal* dari perangkat pemancar, kanal transmisi, dan perangkat penerima. AWGN merupakan model kanal sederhana dan umum dalam suatu sistem komunikasi [5]. Model kanal ini dapat digambarkan seperti Gambar 6:



Gambar 6: Skema AWGN

H. Kanal *Flat Fading*

Flat Fading (*Fading Rata*) disebut juga *Rayleigh 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* [5]. Karakteristik kanal *flat fading* ditunjukkan pada Gambar 7:



Gambar 7: Skema Kanal *Rayleigh Fading*

I. BER

Dalam telekomunikasi, rasio *error* adalah rasio jumlah bit, elemen, karakter, atau blok yang diterima dengan salah dibanding jumlah total bit, elemen, karakter, ataupun blok yang dikirim sepanjang interval waktu tertentu. Rasio yang paling sering ditemui adalah *bit error ratio* (BER). Contoh BER adalah jumlah kesalahan bit yang diterima dibagi dengan jumlah total bit yang dikirimkan. Biasanya kurva BER digambarkan dalam hubungan BER (dB) dengan SNR (dB) atau BER (dB) dengan E_b/N_0 (dB) [6].



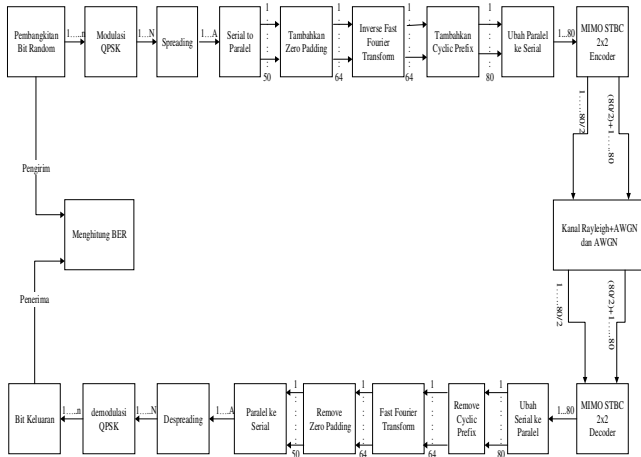
J. E_b/N_0

E_b/N_0 adalah parameter yang biasa digunakan dalam komunikasi digital. Hal ini sangat berguna saat membandingkan performa *bit error rate* (BER) untuk modulasi digital yang berbeda-beda tanpa menyertakan parameter pita frekuensi. Parameter lain yang sering digunakan adalah E_s/N_0 (*energy per symbol to noise power spectral density ratio*) [5].

III. METODE PENELITIAN

A. Pemodelan Sistem MC-SS MIMO

Pemodelan sistem MC-SS MIMO ditunjukkan pada blok diagram, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8:



Gambar 8: Blok Diagram Sistem MC-SS MIMO

Berdasarkan pada Gambar 8, pada pemancar MC-SS terdapat beberapa blok tahapan, dimulai dari blok modulasi QPSK yang membagi bit inputan (jika $n = 100.000$) ke dalam konstelasi I dan Q. Sehingga yang awalnya ada jumlah bit dari 1 sampai n akan menghasilkan jumlah simbol sebanyak $n/2$ simbol yang kemudian dinotasikan dengan 1 sampai dengan N ($N = n/2$). Proses *spread spectrum* yang digunakan berupa *direct sequence spread spectrum*. Dalam blok *spreading*, ada dua hal yang mempengaruhi, yaitu *spreading code* dan *spreading factor*. Data hasil modulasi yang mengalami proses *spreading* mengubah jumlah baris, dimana jumlah baris hasil *spreading* menyesuaikan pada nilai variable *spreading factor*. Notasi A merupakan hasil perkalian antara N dan panjang variable *spreading factor*.

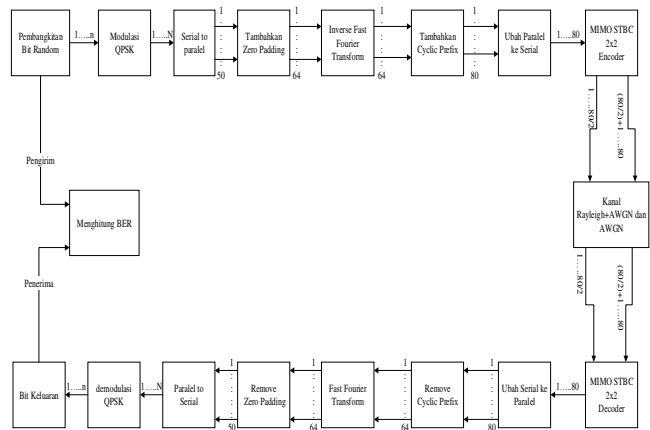
Kemudian simbol yang telah di *spreading* diubah dari deretan *serial* ke *parallel* dengan jumlah barisnya adalah 50 baris dalam satu kolom disesuaikan dengan jumlah subcarrier OFDM. Dalam paper ini, *subcarrier* yang digunakan dalam simulasi untuk satu simbol OFDM adalah 50 *subcarrier*. Pada proses *serial to parallel* ini adalah bentuk menumpangkan informasi pada beberapa *subcarrier*. Tiap satu kolom yang terdiri atas 50 baris dalam matriks hasil perubahan *serial to parallel* merupakan satu simbol OFDM. Dalam Gambar 8 aliran data *parallel* yang ditampilkan hanya untuk satu simbol OFDM. Penambahan *zero padding* berupa menambahkan bit 0

sebanyak 14 deret pada deretan data *parallel* agar sesuai dengan jumlah simbol FFT (FFT size 64).

Kemudian pada blok *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) bertujuan untuk mengubah aliran simbol dari domain frekuensi ke domain waktu. Ukuran IFFT ini adalah 64, sudah sesuai dengan aliran simbol yang memiliki 64 baris dan dalam bentuk aliran data *parallel*. Tahapan selanjutnya adalah penambahan *guard interval* (GI) berupa *cyclic prefix* (CP). Panjang *cyclic prefix* yang digunakan sebesar 16 baris sehingga panjang simbol OFDM akan berubah dari 1 sampai ke 80. Selanjutnya sebelum masuk ke MIMO, simbol OFDM di ubah dari *parallel* ke *serial* terlebih dahulu. Pada sisi MIMO STBC 2x2 aliran data dibagi menjadi dua bagian untuk dikirimkan pada dua antenna yang berbeda. Pada sisi penerima dilakukan hal yang berkebalikan dengan sisi pengirim. Kanal yang digunakan dalam sistem ini adalah AWGN dan *Rayleigh*.

B. Pemodelan Sistem OFDM MIMO

Pemodelan sistem OFDM MIMO ditunjukkan pada blok diagram, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9:



Gambar 9: Blok Diagram Sistem OFDM MIMO

Proses pada sistem OFDM-MIMO hampir sama dengan sistem MC-SS MIMO hanya saja tidak terdapat proses *spreading* simbol dalam sistem OFDM MIMO pada blok setelah modulasi QPSK. Simbol hasil modulasi pada sistem OFDM MIMO setelah dimodulasi kemudian diubah dari deretan *serial* ke *parallel* untuk menyesuaikan dengan *subcarrier*. Tahapan selanjutnya adalah penambahan *zero padding*, IFFT, penambahan *cyclic prefix*, kemudian diubah kembali dari *parallel* ke *serial* sebelum masuk ke blok MIMO STBC 2x2.

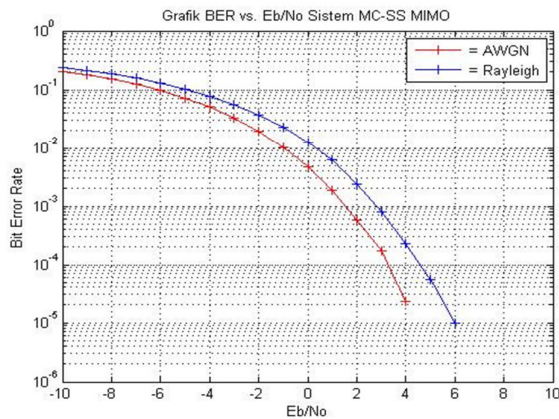
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi sistem MC-SS MIMO dan OFDM MIMO menggunakan perangkat lunak MatLab 2012a. Simulasi dikerjakan sesuai dengan pemodelan pada Gambar 8 dan 9. Parameter yang digunakan dalam simulasi kedua tersebut ditunjukkan dengan Tabel 1:

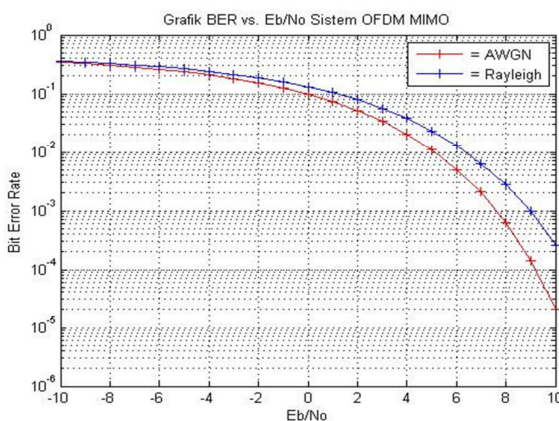
TABEL 1: PARAMETER SIMULASI SISTEM MC-SS MIMO DAN OFDM MIMO

Parameter	Nilai yang digunakan
Panjang satu simbol OFDM	64
Jumlah <i>subcarrier</i>	52
Jumlah simbol FFT	64
Tipe modulasi	QPSK
Panjang <i>Zero Padding</i>	14
<i>Guard interval type</i>	<i>Cyclic prefix</i>
Panjang <i>cyclic prefix</i>	16
Jenis <i>spreading code</i>	Walsh-Hadamard
Variabel <i>spreading factor</i>	4
Jenis <i>spread spectrum</i>	<i>Direct sequence spread spectrum</i>
<i>User type</i>	<i>Single user</i>
MIMO <i>type</i>	STBC 2x2
Nilai <i>Eb/No</i>	-10 sampai 10
Jumlah bit yang input	100.000 bit (random)

Hasil simulasi sistem MC-SS MIMO ditunjukkan pada Gambar 10 sedangkan hasil simulasi sistem OFDM MIMO ditunjukkan pada Gambar 11:



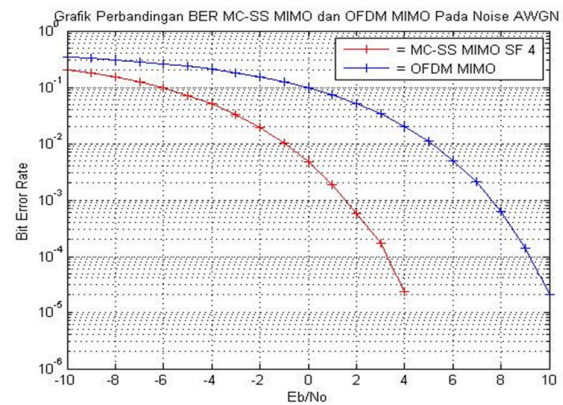
Gambar 10: Grafik BER vs. Eb/No Sistem MC-SS MIMO



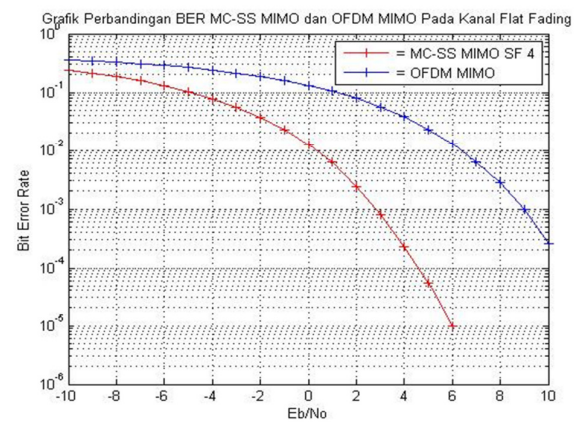
Gambar 11: Grafik BER vs. Eb/No Sistem OFDM MIMO

Melalui kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa performansi BER vs. E_b/N_0 sistem MC-SS MIMO dan OFDM MIMO pada kanal AWGN lebih baik dibandingkan dengan *Rayleigh*. Hal ini dikarenakan pada kanal AWGN hanya terdapat penambahan *noise* pada bit yang ditransmisikan sedangkan pada kanal *Rayleigh* bit yang ditransmisikan selain ditambahkan *noise* juga mengalami efek *fading*. Selain itu, nilai BER akan semakin berkurang seiring dengan meningkatnya nilai E_b/N_0 pada kondisi *noise* yang sama baik untuk sistem MC-SS MIMO dan OFDM MIMO.

Perbandingan sistem MC-SS MIMO dengan OFDM MIMO ditunjukkan dengan Gambar 12 untuk kanal AWGN dan Gambar 13 untuk kanal *Rayleigh*.



Gambar 12: Grafik BER vs. E_b/N_0 untuk Perbandingan Sistem MC-SS MIMO dengan OFDM MIMO pada Kanal AWGN



Gambar 13: Grafik BER vs. E_b/N_0 untuk Perbandingan Sistem MC-SS MIMO dengan OFDM MIMO pada Kanal *Rayleigh Fading*

Berdasarkan Gambar 12 dan 13 dapat dilihat bahwa sistem MC-SS MIMO memiliki performansi BER vs. E_b/N_0 yang lebih baik dibandingkan dengan sistem OFDM MIMO. Hal ini dikarenakan pada sistem OFDM MIMO tidak terdapat proses *spreading* seperti pada sistem MC-SS MIMO. Proses *spreading* berupa mengalikan bit yang akan ditransmisikan dengan sejumlah *chips* yang dibangkitkan dengan *spreading*



code. Jumlah *chips* yang dibangkitkan oleh *spreading code* dipengaruhi oleh nilai *spreading factor*.

Dalam *paper* ini *spreading factor* atau jumlah *chips* yang dibangkitkan untuk sistem MC-SS MIMO adalah empat. Satu bit yang akan ditransmisikan kemudian dilipatgandakan menjadi empat simbol. Maka dari itu dalam sistem MC-SS MIMO terdapat cadangan dari bit yang ditransmisikan. Sehingga jumlah simbol yang ditransmisikan oleh sistem MC-SS MIMO lebih banyak dibandingkan dengan sistem OFDM MIMO. Ketika pada kondisi *noise* dan *fading* yang sama untuk sistem MC-SS MIMO dan OFDM MIMO menyebabkan sejumlah simbol mengalami kerusakan sehingga tidak bisa dideteksi kembali, pada sistem MC-SS MIMO simbol masih memungkinkan untuk dideteksi kembali karena ada cadangan simbol tersebut. Sedangkan pada OFDM MIMO yang satu bitnya direpresentasikan dalam satu simbol, ketika simbol mengalami kerusakan dan tidak bisa dideteksi kembali, maka data (bit) tersebut akan hilang.

V. SIMPULAN

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan dapat disimpulkan

1) Performansi sistem MC-SS MIMO dan OFDM MIMO ditinjau pada kanal AWGN dan *rayleigh fading* dimana kanal AWGN memiliki performansi BER vs. Eb/No yang paling baik diantara pemodelan kanal lainnya. Hal ini dikarenakan pada pemodelan kanal AWGN, transmisi sinyal tidak dilewatkan pada kanal melainkan hanya penambahan *noise* AWGN sedangkan pada kanal *Rayleigh fading*, terjadi efek *fading* yang menyebabkan BER bertambah buruk.

2) Hasil perbandingan sistem MC-SS MIMO dan OFDM MIMO menunjukkan bahwa sistem MC-SS MIMO memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan OFDM MIMO ditinjau dari nilai BER vs. Eb/No yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan pada sistem MC-SS MIMO terdapat proses *spreading* data simbol dengan sejumlah *chips* yang ditentukan berdasarkan nilai dari *spreading factor*. Sehingga ketika satu data simbol disebarkan dalam beberapa *chips* maka akan terdapat cadangan dari data simbol tersebut dengan demikian kesalahan yang terjadi tidak berpengaruh secara signifikan. Sedangkan pada sistem OFDM MIMO yang satu data simbol tidak memiliki cadangan sehingga saat terjadi kesalahan data simbol tersebut sepenuhnya mengalami kesalahan.

REFERENSI

[1] Fazel, K. and Kaiser, S., *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX*, Second Edition, New York: John Wiley & Sons, 2008.

- [2] Faisal, Muhammad, "Pengaruh Panjang *Cyclic Prefix* Terhadap Kinerja Sistem OFDM Pada *WiMax*," ST. Skripsi, Medan: Universitas Sumatra Utara, 2009.
- [3] Hakim, M. Lukmanul, Sukiswo, Santoso Imam, "Analisis Kinerja Sistem MIMO OFDM Pada Kanal *Rayleigh* dan AWGN dengan Modulasi QPSK," ST. Skripsi, Semarang: Universitas Diponegoro, 2010.
- [4] Purwanto Teguh Bayu, "Analisis Unjuk Kerja Teknik MIMO STBC dan V-BLAST Pada Sistem Orthogonal Frequency Division Multiplexing," ST. Skripsi, Denpasar: Universitas Udayana, 2015.
- [5] Meel, Ir. J., *Spread Spectrum*, Belgium : Sirius Communications, 1999.
- [6] Awirya, Valen dan Sukiswo, "Analisis Kinerja Kombinasi Sistem CDMA-OFDM MIMO," ST. Skripsi, Semarang: Universitas Diponegoro, 2010.
- [7] Astawa, I Gede Puja., Hendranto, Gamantyo., Suryani, Titiek., Pratiarso, Aries., dan Moegiharto, Yoedy, "Studi Karakteristik dan Kinerja Teknik MIMO-OFDM pada Sistem Komunikasi *Wireless* untuk *Indoor Channel*," *The 19th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems*, pp. 228-232.
- [8] Barros Daniel Jose Fernandes, "Orthogonal Frequency-Division Multiplexing For Optical Communications" M.Eng. Thesis, United States : Stanford University, 2011.
- [9] Cho, Yong Soo., Kim, Jaekwon., Yang, Won Young., and Kang, Chung-Gu. *MIMO-OFDM Wireless Communications With MATLAB*, New York : John Wiley & Sons, 2010.
- [10] Kushwah, Mr. Atul Singh, "Manglaseril, Mr. Sachin. Performance Estimation of 2*3 MIMO-MC-CDMA using Convolution Code," *International Journal of Computer Trends and Technology*, vol. 9 no. 1, Pp. 21-25, 2014.
- [11] Nejb, Boubaker., Khaled, Ben Letaief., and Ross, D. Murch, "Performance of BLAST Over Frequency-Selective Wireless Communication Channels," *IEEE Trans. Comm.*, vol. 50, no. 2, pp. 196-199, 2002.
- [12] Rachmat, Basuki., Muayadi, Ali., Fahmi., dan Arfianto, "Simulasi Sistem DS-CDMA Dengan Berbagai Kode Penebar." *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi*, 2007, Pp. C-1 – C-7.
- [13] Shah, Syed M. Zafi S., Umarani, A.W., and Memon, Aftab A., "Performance Comparison of OFDM, MC-CDMA and OFCDM for 4G Wireless Broadband Access and Beyond," *Proceedings of Progress In Electromagnetic Research Symposium*, 2011, Pp. 1396 – 1399.
- [14] Sharma, Vishal. and Sharma, Richa., "Analysis of Spread Spectrum in Matlab," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 5 issue 1: Pp. 1899-1902, 2014.
- [15] Singh, Astha., "Performance Analysis of Spread Spectrum Techniques," *Proceedings Of Conference on Advances in Communication and Control Systems 2013*, 2013, pp. 683-687.
- [16] Sinha, Nirmalendu Bikas., M, Mitra., "Investigating The Impact Of Spectrum Efficient OFDM-MIMO and MC-CDMA-MIMO Communication System For ITS," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol 19 no. 1 Pp. 1-8, 2010.
- [17] Sklar, Bernard., "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication System Part I : Characterization," *IEEE Communications Magazine*, ISSN : 0163-6804, July. 1997.
- [18] Sklar, Bernard., "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication System Part II : Mitigation," *IEEE Communications Magazine*, ISSN : 0163-6804, July. 1997.