

ANALISIS PERFORMANSI MIMO-OFDM DENGAN MENGGUNAKAN SUCCESSIVE INTERFERENCE CANCELLATION

PERFORMANCE ANALISYS OF MIMO-OFDM USING SUCCESSIVE INTERFERENCE CANCELLATION

Mochammad Arfin¹, A. Ali Muayyadi, Ph.D.², Dr. Arfianto Fahmi, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹mochammad.arfin@gmail.com, ²alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id,

³arfiantof@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Teknologi *multiple antenna* pada OFDM mampu meningkatkan kapasitas sistem dan efisiensi spektrum secara signifikan. MIMO-OFDM juga dapat mengurangi efek dari *fading* berkat penggunaan teknik *diversity*[4]. Namun penggunaan teknik multi antena juga memiliki masalah seperti interferensi yang terjadi akibat transmisi antar antena yang digunakan.

Pada penelitian ini akan digunakan metode deteksi sinyal *non-linear* pada MIMO yaitu *successive interference cancellation* (SIC) pada penerima untuk meningkatkan kualitas sinyal yang informasi. Sinyal yang diterima akan dideteksi dan SIC akan mengambil satu sinyal yang memiliki nilai *channel gain* terbesar. Sinyal tersebut akan diolah sehingga mendapatkan sinyal yang diinginkan dan menghasilkan sinyal berupa sinyal informasi dan sinyal residu. Sinyal residu tersebut digunakan untuk memperbaiki sinyal yang akan diproses berikutnya.

SIC mampu memperbaiki performansi sistem terlihat dari menurunnya nilai BER. Pada sistem MISO-OFDM, kondisi user dengan kecepatan 100km/jam mengalami perbaikan oleh SIC sebesar 6dB pada BER 10^{-5} . Pada kondisi user dengan kecepatan 120km/jam terdapat perbaikan sebesar 3dB pada BER 10^{-4} . Dan perbaikan sebesar 3,5dB untuk mencapai BER 10^{-3} pada kecepatan 150km/jam. Untuk sistem MIMO-OFDM, perbaikan sebesar 0,5dB untuk mencapai BER 10^{-6} pada user dengan kecepatan 50km/jam. Perbaikan sebesar 1dB untuk mencapai BER 10^{-6} dengan kondisi user bergerak 100km/jam. Untuk kondisi user bergerak dengan kecepatan 120km/jam, perbaikan pada BER 10^{-6} sebesar 3,3dB. Sedangkan pada user dengan kecepatan 150km/jam, perbaikan dalam mencapai BER 10^{-6} sebesar 4,2dB.

Kata kunci : MIMO-OFDM, SIC, BER, OFDM, STBC

Abstract

MIMO-OFDM technology can increase both system's capacity and spectral efficiency significantly. MIMO-OFDM also decrease the effects of fading due to diversity technique [4]. However, by using multiple antenna method also have problems such as interference caused by transmission between antenna.

In this study will be used signal detection method of non-linear in MIMO, successive interference cancellation (SIC), which will be used by the receiver to improve the quality of the received signal. The received signal is detected and the SIC will take the signal was first received. The signal will be processed so get desired signal and eliminate or reduce interference. The residue of the signal processing is used to improve the signal to be processed next. By using the SIC, the quality of the received signal will increase.

SIC improve the performance seen from the declining value of the BER. In the MISO-OFDM systems, conditions of the user with a speed of 100km/h has improved by SIC by 6dB at BER 10^{-5} . On the condition of the user with the speed of 120km/h improvement of 3dB at BER 10^{-4} . And improvement of 3,5dB to achieve BER of 10^{-3} at a speed of 150km/h. For MIMO-OFDM systems, improvement of 0,5dB to reach BER 10^{-6} on the user with a speed of 50km/h. Improvement of 1dB to reach BER 10^{-6} with user conditions moving 100km/h. When user moves with the speed of 120km/h, the improvement in the BER 10^{-6} for 3,3dB. While the user with a speed of 150km/h, the improvement in achieving BER 10^{-6} for 4,2dB.

Keywords: MIMO-OFDM, SIC, BER, OFDM, STBC

1 PENDAHULUAN

Penggunaan OFDM dengan teknik *transmit diversity*, yaitu STBC, dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam mengatasi *frequency selective fading* dan meningkatkan efisiensi spektrum[1][5]. Pada kanal dengan tipikal *fast fading*, nilai respon kanal pada dua simbol yang berdekatan pada STBC memiliki nilai yang berbeda dan akan merusak ortogonalitas nilai matriks kanal. Hal ini mengakibatkan rusaknya suatu data simbol karena dipengaruhi oleh simbol dari kanal lain atau disebut sebagai *co-channel interference* [8].

Algoritma deteksi yang dapat digunakan salah satunya adalah *successive interference cancellation* (SIC). SIC bekerja dengan cara membandingkan *channel gain* dari masing-masing simbol yang dideteksi[6]. Sinyal yang memiliki nilai *channel gain* terbesar akan dideteksi terlebih dahulu dan kemudian hasil deteksi tersebut

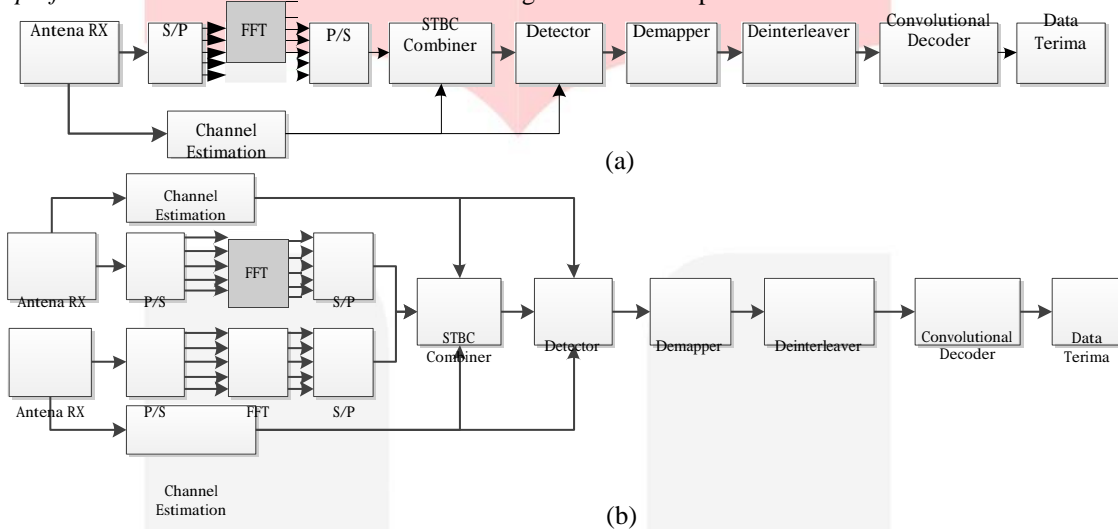
akan digunakan untuk menghilangkan efek dari *co-channel interference* pada simbol dengan *channel gain* yang lebih kecil. Penggunaan deteksi sinyal dengan SIC akan memiliki hasil yang lebih baik daripada deteksi sinyal Alamouti STBC.

Pada penelitian ini dibahas mengenai penggunaan SIC untuk mengatasi *co-channel interference* pada STBC-OFDM. simulasi akan dilakukan pada STBC-OFDM dengan antenna 2x1 dan 2x2 dengan kondisi kecepatan user sebesar 0km/jam, 50km/jam, dan 120km/jam. Simulasi akan dilakukan pada kanal model COST207 *bad urban*. simulasi akan dilakukan untuk membandingkan grafik BER terhadap Eb/N0 pada sistem yang menggunakan SIC dengan yang tidak menggunakan SIC.

2 MODEL SISTEM

Penggunaan MIMO-OFDM dengan metode STBC akan meningkatkan kualitas sinyal dengan memanfaatkan *diversity gain*. Kanal STBC akan kehilangan ortogonalitas ketika kondisi kanal adalah *fast fading* dan menyebabkan *error* pada proses pendeteksian sinyal terima. Untuk mengurangi tingkat *error* pendeteksian, akan digunakan SIC sebagai pendeteksi simbol.

Pada pemancar, data generator akan membangkitkan N bit data untuk dikirim. Bit akan melalui *convolutional encoder* sebagai *channel coding* dengan *code rate* 1/2. Selanjutnya pada *interleaver*, *codeword* hasil *channel coding* akan disusun ulang secara *pseudo-random* sehingga dapat terhindar dari *burst error* pada saat pengiriman. Bit yang telah diacak kemudian dimodulasi dengan modulator QPSK. Pada penelitian ini, penerima diasumsikan memiliki *perfect channel estimation*. Penerima telah mengetahui secara tepat nilai matriks kanal H.



Gambar 1. Diagram blok penerima. (a) 1 antenna penerima, (b) 2 antenna penerima

2.1 Kanal AWGN

Additive White Gaussian Noise (AWGN) adalah derau yang memiliki distribusi gaussian dan memiliki rapat *spectral daya noise* merata di sepanjang *range* frekuensi.

2.2 Model Kanal COST 207 Bad Urban

Pada simulasi ini digunakan model kanal COST 207 *Bad Urban* (BU) untuk memodelkan kanal yang akan disimulasikan. Kanal BU memiliki enam tap dan pada setiap jalurnya memiliki karakter Rayleigh *fading*. Nilai delay relatif dan daya rata-rata pada setiap jalur kanal BU adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Profil kanal COST207 *Bad Urban*[3]

Delay Relatif (µs)	Daya Rata-Rata	Spektrum Doppler
0.0	0.164	Classic
0.3	0.293	Classic
1.0	0.147	GAUS1
1.6	0.094	GAUS1
5.0	0.185	GAUS2
6.6	0.117	GAUS2

2.3 STBC

STBC diperkenalkan oleh Alamouti pada [2] dengan skema yang paling sederhana adalah menggunakan dua antenna pemancar dan satu antenna penerima. Pengkodean pada Alamouti STBC 2x1 ditunjukkan pada matriks berikut

$$(1)$$

Pada saat t , TX 1 memancarkan sinyal x_1 dan TX 2 memancarkan sinyal x_2 , kemudian pada saat $t + T$, TX 1 memancarkan sinyal x_2^* dan TX 2 memancarkan sinyal x_1^* . Tanda * merupakan operasi konjugat dari simbol tersebut.

2.3.1 Satu Antena Penerima

Proses terjadinya decode dari STBC sehingga dapat disusun kembali bit data yang dikirim dengan menghitung nilai matriks kanal

Tabel 2. Matriks kanal pada STBC 2x1

	Antena rx 1
Antena tx 1	h_1
Antena tx 2	h_2

Simbol yang dikirim oleh antena pemancar akan diterima dengan persamaan secara umum adalah $Y = HX + N$ (2)

Pada receiver dengan satu antena penerima dituliskan sebagai berikut $y_{1,t+T} = h_{1,t+T}x_2^* + h_{2,t+T}x_1^* + n_{t+T}$ (3)

merupakan sinyal yang diterima pada periode t dan $t+T$, adalah nilai matriks kanal dari antena pemancar menuju ke antena penerima. adalah noise AWGN pada kanal transmisi.

2.3.2 Dua Antena Penerima

Pada skema Alamouti 2x2 matriks kanal antar antena akan ditunjukkan sesuai dengan tabel 3.

Tabel 3. Matriks kanal STBC 2x2

	Antena rx 1	Antena rx 2
Antena tx 1	h_1	h_3
Antena tx 2	h_2	h_4

Pengiriman akan dilakukan dalam interval waktu t dan $t+T$. Pada antena rx 1 sinyal yang diterima akan dituliskan dengan persamaan[2] $y_{1,t+T} = -h_{1,t+T}x_2^* + h_{2,t+T}x_1^* + n_{t+T}$ (4)

Sedangkan pada antena rx 2 sinyal yang diterima dituliskan sebagai [2] $y_{2,t} = h_{3,t}x_1 + h_{4,t}x_2 + n_t$ (5)

2.4 Detector STBC

Detektor STBC akan melakukan pendeteksian simbol yang telah melalui proses pada blok *combiner*.

2.4.1 STBC 2x1

Proses deteksi dilakukan dengan melakukan perkalian antara sinyal y hasil *combiner* dengan H^H yaitu transpose *complex conjugate* dari matriks kanal H [9]

$$H^H H = \begin{bmatrix} |h_{1,t}|^2 + |h_{2,t+T}|^2 & h_{1,t}h_{2,t}^* - h_{1,t+T}h_{2,t}^* \\ h_{1,t}h_{2,t}^* - h_{1,t+T}h_{2,t}^* & |h_{1,t+T}|^2 + |h_{2,t}|^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Pada kanal dengan karakteristik slow fading, nilai $h_{1,t} = h_{1,t+T}$ dan nilai $h_{2,t} = h_{2,t+T}$. Sehingga matriks H akan bersifat ortogonal[9]. $H^H H = \begin{bmatrix} |h_{1,t}|^2 + |h_{2,t+T}|^2 & 0 \\ 0 & |h_{1,t+T}|^2 + |h_{2,t}|^2 \end{bmatrix}$ (7)

Kenyataannya, dalam pentransmisiian sinyal informasi, nilai h pada tiap urutan simbol tidak akan bernilai sama. Pada kanal transmisi yang bersifat *time-varying* atau *fast fading* nilai h akan berubah dengan cepat. Hal ini menyebabkan nilai H tidak lagi bersifat ortogonal. $H^H H = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$ (8)

Dengan nilai $g_{11}, g_{12}, g_{21}, g_{22}$ dan $g_{11} = |h_{1,t}|^2 + |h_{2,t+T}|^2$ (9)

$$g_{12} = h_{1,t}h_{2,t}^* - h_{1,t+T}h_{2,t}^* \quad g_{21} = h_{1,t}h_{2,t}^* - h_{1,t+T}h_{2,t}^*$$

$$g_{22} = |h_{1,t+T}|^2 + |h_{2,t}|^2$$

Nilai g_{12} dan g_{21} adalah *co-channel interference*[9]. Interferensi ini akan menurunkan kualitas sinyal yang diterima.

Untuk melakukan deteksi pada kondisi kanal *fast fading*, sinyal terima Y yang sudah melalui proses *combiner* akan dikalikan dengan H^H untuk mendapatkan sinyal Z dengan persamaan[9]

$$Z = H^H Y = H^H H X$$

$$Z = [Z_1 \ Z_2]$$

$$Z_1 = g_{11}x_1 + g_{12}x_2 + n_1 ; \quad Z_2 = g_{22}x_2 + g_{21}x_1 + n_2 \quad (10)$$

n adalah derau pada sistem yang dimodelkan sebagai noise AWGN.

2.4.2 STBC 2x2

Sinyal yang akan menjadi input untuk blok *Combiner* pada STBC adalah sinyal dari persamaan (2.10) dan (2.11). Sinyal informasi yang diterima oleh antenna RX 1 akan digabungkan dan dikode dengan sinyal informasi yang diterima oleh antenna RX 2. Proses *combining* STBC 2x2 secara umum sama dengan sistem STBC 2x1 yaitu dengan melakukan perkalian matrix *H* dengan H^H untuk mendapatkan matriks sinyal hasil *combining* yaitu matriks *Z*.

Matriks *H* pada STBC 2x2 akan dibagi menjadi dua bagian yaitu H_1 untuk antenna RX 1 dan H_2 untuk nilai matriks kanal pada antenna RX 2.

$$H_1 = \begin{bmatrix} h_{1,t} & h_{2,t} \\ h_{2,t+T} & -h_{1,t+T} \end{bmatrix}; \quad H_2 = \begin{bmatrix} h_{3,t} & h_{4,t} \\ h_{4,t+T} & -h_{3,t+T} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Pada Antena RX 1 dan RX 2, nilai channel gain *g* adalah,

$$G_1 = H_1^H H_1 = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}; \quad G_2 = H_2^H H_2 = \begin{bmatrix} g_{31} & g_{32} \\ g_{41} & g_{42} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Untuk mendapatkan nilai Z_1 dan Z_2 yang merupakan hasil dari proses *combining* maka pada *combiner* akan dilakukan penjumlahan sinyal yang diterima dari antenna RX1 dengan sinyal yang diterima oleh antenna RX 2. Menurut Alamouti pada [4] dengan asumsi nilai *h* pada $t+T$ sama dengan nilai *H* pada saat *t* maka

$$\begin{aligned} Z_1 &= h_{1,t}^* y_{1,t} + h_{2,t+T}^* y_{1,t+T} + h_{3,t}^* y_{2,t} + h_{4,t+T}^* y_{2,t+T} \\ Z_2 &= h_{2,t}^* y_{1,t} - h_{1,t+T}^* y_{1,t+T} + h_{4,t}^* y_{2,t} - h_{3,t+T}^* y_{2,t+T} \end{aligned} \quad (13)$$

dan matriks nilai matriks *G* akan menjadi

$$G = \begin{bmatrix} g_1 & g_2 \\ g_3 & g_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} + g_{31} & g_{12} + g_{32} \\ g_{21} + g_{41} & g_{22} + g_{42} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Pada kondisi kanal fast *fading* dimana nilai *h* akan mengalami perubahan secara cepat dan nilai *H* akan kehilangan ortogonalitasnya sehingga untuk mendapatkan nilai Z_1 dan Z_2 adalah

$$\begin{aligned} Z_1 &= h_{1,t}^* y_{1,t} + h_{2,t+T}^* y_{1,t+T} + h_{3,t}^* y_{2,t} + h_{4,t+T}^* y_{2,t+T} \\ Z_2 &= h_{2,t}^* y_{1,t} - h_{1,t+T}^* y_{1,t+T} + h_{4,t}^* y_{2,t} - h_{3,t+T}^* y_{2,t+T} \end{aligned} \quad (15)$$

Dengan menyubtitusikan persamaan (2.10) dan (2.11) dan melihat pada persamaan (2.24) dan (2.25), maka Z_1 dan Z_2 dapat dituliskan sebagai

$$Z_1 = g_1 x_1 + g_2 x_2 ; \quad Z_2 = g_4 x_2 + g_3 x_1 \quad (16)$$

2.5 Algoritma SIC

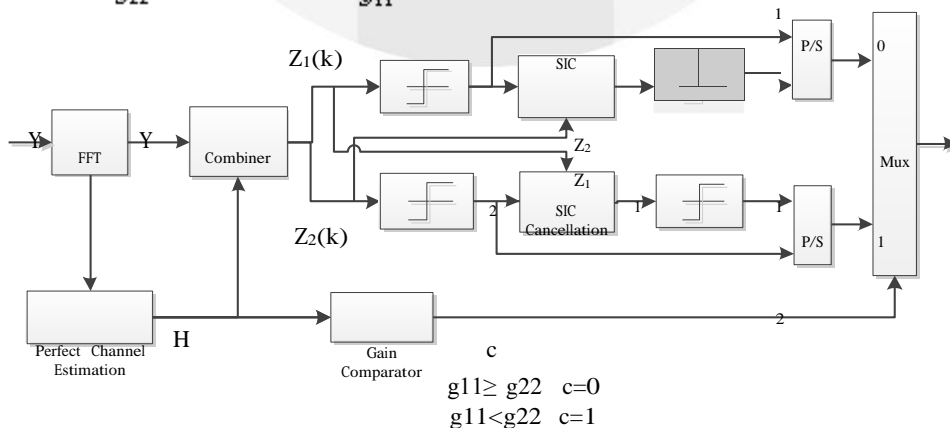
Dalam proses deteksi sinyal dengan menggunakan SIC, sinyal yang diterima dari berbagai antenna akan diproses agar menghilangkan CCI akibat *fast fading*. SIC akan membandingkan nilai *gain* g_{11} dan g_{22} yang berbeda pada suatu simbol untuk menentukan simbol mana yang pertama kali dideteksi[9].Langkah dari proses SIC sebagai berikut:

- 1.Simbol yang dideteksi pada *t* adalah Z_1
- 2.Simbol yang dideteksi pada $t+T$ adalah Z_2
- 3.Membandingkan nilai g_{11} dengan nilai g_{22}
- 4.Bila $g_{11} > g_{22}$ maka

$$\hat{Z}_1 = \frac{Z_1}{g_{11}} ; \quad \hat{Z}_2 = \frac{Z_2 - g_{21}\hat{Z}_1}{g_{22}} \quad (17)$$

- 5.Bila $g_{11} < g_{22}$ maka

$$\hat{Z}_2 = \frac{Z_2}{g_{22}} ; \quad \hat{Z}_1 = \frac{Z_1 - g_{12}\hat{Z}_2}{g_{11}} \quad (18)$$



Gambar 3. Diagram blok SIC

2.6 Parameter Sistem

Nilai parameter sistem yang akan digunakan untuk simulasi ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Parameter sistem

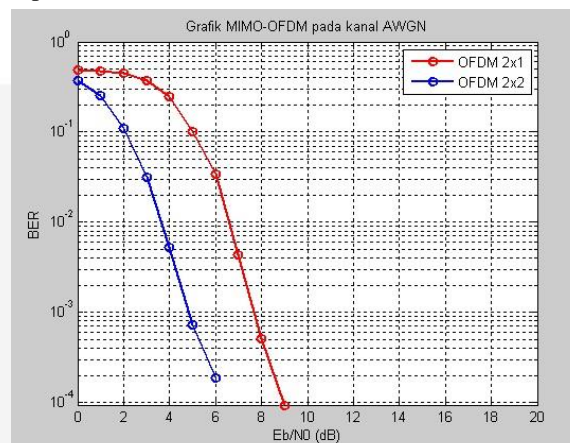
Parameter	Nilai
Frekuensi <i>carrier</i>	1,8GHz
Subcarrier spacing	10.94KHz
Jumlah <i>subcarrier</i>	128
Jumlah point FFT dan IFFT	128
Jenis Modulasi	QPSK
<i>Channel Coding</i>	<i>Convolutional Code</i>
<i>Coderate</i>	$\frac{1}{2}$
Durasi Simbol	102,9 μ s
Kecepatan <i>user</i>	0km/s 50km/s 150km/s
Model Kanal	<i>Cost 207 Bad Urban</i>

3 HASIL SIMULASI

Simulasi dilakukan untuk melihat performansi sistem dengan parameter BER dan Eb/N0. Hasil dari simulasi berupa grafik BER terhadap Eb/N0 dan diagram konstelasi simbol pada penerima.

3.1 Kinerja sistem MIMO-OFDM pada kanal AWGN

Hasil dari simulasi yang dilakukan pada STBC-OFDM 2x1 dan 2x2 pada kanal AWGN menunjukkan bahwa kinerja MIMO-OFDM 2x2 lebih baik dari MISO-OFDM 2x1. Nilai BER pada setiap Eb/N0 pada sistem dengan antenna 2x1 lebih besar daripada sistem 2x2.



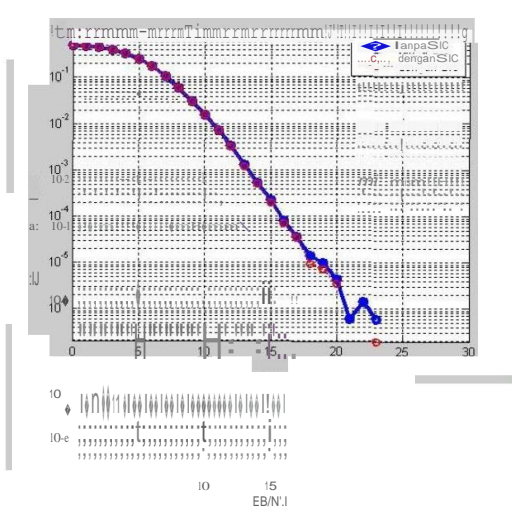
Gambar 4. Perbandingan nilai BER terhadap Eb/N0 pada kanal AWGN

Untuk mencapai BER 10^{-3} sistem MISO-OFDM 2x1 membutuhkan Eb/N0 sebesar 7,8dB. Sedangkan pada sistem MIMO-OFDM 2x2 membutuhkan Eb/N0 sebesar 5dB. Sistem dengan antenna 2x2 memiliki *diversity gain* yang lebih tinggi daripada sistem dengan antenna 2x1. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan kinerja sistem sekitar 2,8dB dari STBC-OFDM yang menggunakan satu antenna pada penerima ketika menggunakan dua antenna pada penerima dengan kanal AWGN.

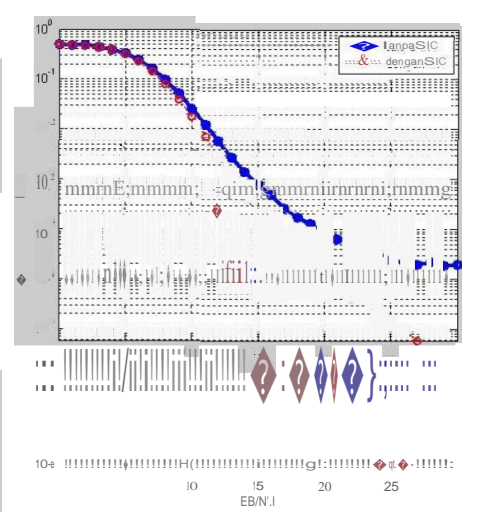
3.2 Kinerja Sistem MISO-OFDM Dengan dan Tanpa Penggunaan SIC

3.2.1 Grafik Hasil Simulasi

Pada *user* dengan kondisi diam atau kecepatan 0km/jam, BER 10^{-6} dapat dicapai pada saat nilai Eb/N0 sebesar 12dB untuk sistem yang tidak menggunakan SIC maupun yang menggunakan SIC. Pada *user* dengan kondisi bergerak dengan kecepatan 50km/jam, BER 10^{-6} dapat dicapai pada saat nilai Eb/N0 sekitar 21dB baik pada sistem yang tidak menggunakan SIC maupun dengan menggunakan SIC. *User* yang bergerak pada kecepatan 100km/jam dan menggunakan SIC dapat mencapai BER 10^{-6} dengan Eb/N0 sekitar 21dB. *User* yang bergerak dengan kecepatan 120km/jam mencapai BER 10^{-6} dengan Eb/N0 sebesar 26dB dengan menggunakan SIC. Selanjutnya pada *user* yang bergerak dengan kecepatan 150km/jam, sistem dengan SIC dapat mencapai BER 10^{-6} dengan Eb/N0 sekitar 22dB. Grafik untuk kondisi *user* bergerak dengan kecepatan 0km/jam, 100km/jam, dan 120km/jam tidak ditampilkan. Perbaikan antara sistem dengan SIC dan tanpa SIC pada *user* 100km/jam untuk mencapai BER 10^{-5} adalah 6dB. Perbaikan pada *user* dengan kecepatan 120km/jam untuk mencapai BER 10^{-4} sebesar 3dB dengan menggunakan SIC. Sedangkan pada kecepatan 150 km/jam, perbaikan untuk mencapai BER 10^{-3} sebesar 3,5dB.



(a)

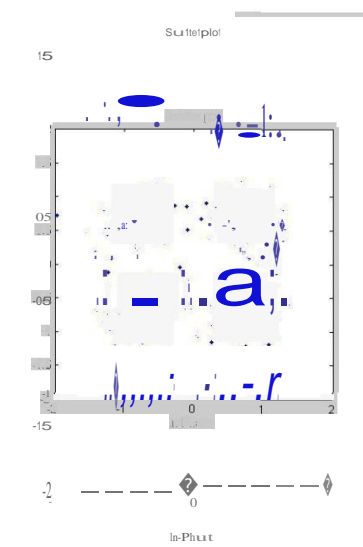


(b) Gambar

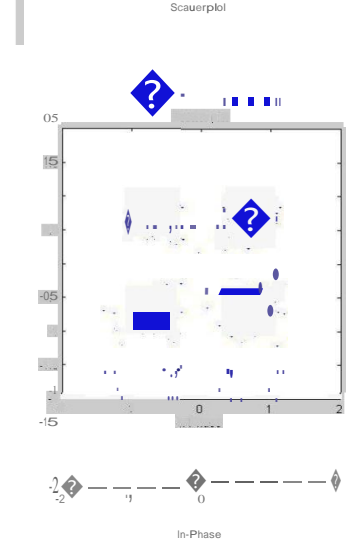
5. Grafik BER terhadap E_b/N_0 pada kanal *bad urban* pada kecepatan (a) 50km/jam, (b) 120km/jam

3.2.2 Diagram Konstelasi Hasil Simulasi

Pada user dengan kecepatan 0km/jam, masing-masing simbol tersebar pada *region* sesuai dengan modulatnya dan tidak ada perbedaan antara sistem yang menggunakan SIC dengan sistem yang tidak menggunakan SIC (gambar tidak ditampilkan). Pada kanal dengan karakteristik *slow fading*, nilai g_{12} dan g_{21} yang merupakan *co-channel interference*, bernilai 0. Sehingga pada diagram konstelasi simbol tetap berada pada regionnya dan tidak mengalami *error* saat dilakukan demodulasi.



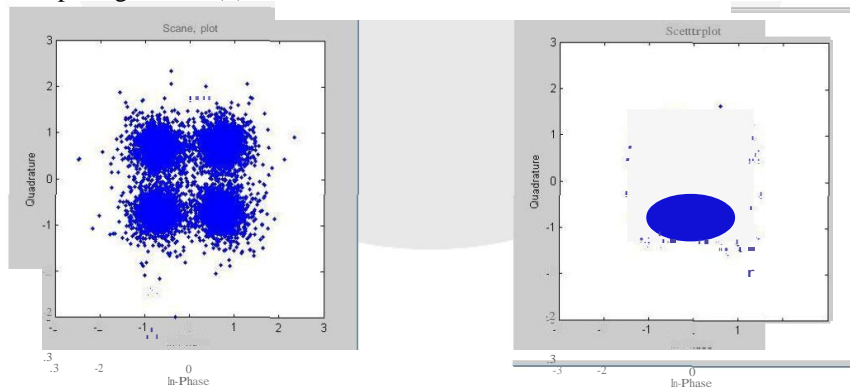
(a)



(b)

Gambar 6. Diagram konstelasi MISO-OFDM kondisi *user* dengan kecepatan 50km/jam, (a) tanpa SIC dan (b) dengan SIC

Gambar 6 menunjukkan diagram konstelasi pada MISO-OFDM kondisi *user* bergerak dengan kecepatan 50km/jam. Perubahan tidak banyak namun sudah merepresentasikan kemampuan SIC untuk memperbaiki sinyal terima seperti terlihat pada gambar 6(b).





Gambar 7. Diagram konstelasi MISO-OFDM kondisi *user* dengan kecepatan 100km/jam,

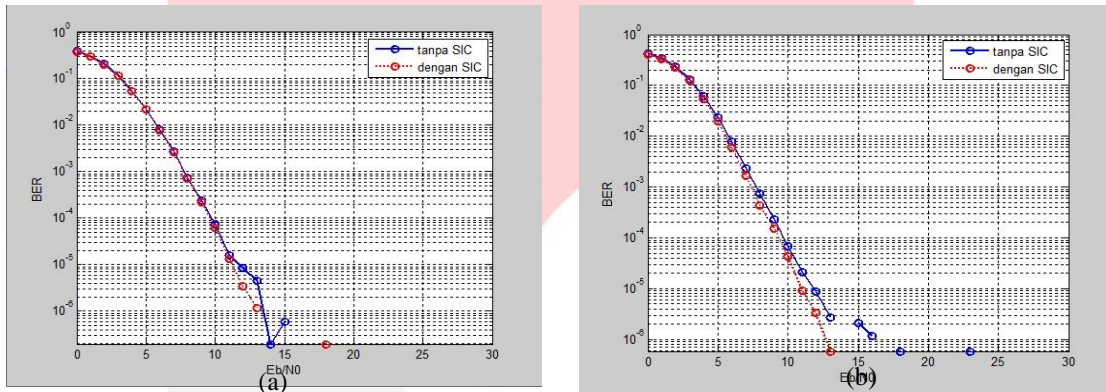
Gambar 7 merupakan gambar diagram konstelasi dari MISO-OFDM kondisi *user* bergerak dengan kecepatan 120km/jam Pada sistem tanpa SIC, posisi simbol masih terlihat tidak sesuai dengan regionnya sehingga akan terjadi *error* saat demodulasi. Perubahan posisi simbol pada diagram konstelasi yang terjadi setelah proses SIC karena pada proses SIC sinyal interferensi telah dihilangkan. Setelah melalui proses SIC, hasil

demodulasi simbol akan mengalami perbaikan dan BER akan semakin kecil dibandingkan dengan sistem tanpa SIC.

3.3 Kinerja Sistem MISO-OFDM Dengan dan Tanpa Penggunaan SIC

3.3.1 Grafik Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan pada sistem MIMO-OFDM dengan jumlah antena 2x2 dilakukan pada *user* dengan kecepatan 0km/jam, 50km/jam, 100km/jam, 120km/jam, dan 150km/jam. Grafik hasil simulasi yang ditampilkan hanya grafik simulasi pada kondisi *user* dengan kecepatan 50km/jam dan 120km/jam. Pada *user* dengan kondisi tidak bergerak, BER 10^{-6} didapatkan ketika E_b/N_0 bernilai 5,5dB. Pada *user* yang bergerak dengan kecepatan 50km/jam, BER 10^{-6} dapat dicapai dengan nilai E_b/N_0 sebesar 13dB pada sistem dengan menggunakan SIC dan nilai E_b/N_0 sekitar 13,5dB pada sistem tanpa SIC. Pengaruh SIC dalam memperbaiki sinyal yang diterima terlihat ketika E_b/N_0 pada sistem bernilai lebih besar dari 11dB. Untuk mencapai BER 10^{-6} , sistem dengan menggunakan SIC membutuhkan nilai E_b/N_0 yang lebih kecil yaitu sebesar 12dB. Sedangkan pada sistem tanpa SIC, untuk mencapai BER 10^{-6} , sistem membutuhkan E_b/N_0 sebesar 13dB. Terdapat perbedaan E_b/N_0 sebesar 1dB antara sistem dengan SIC dan tanpa SIC.

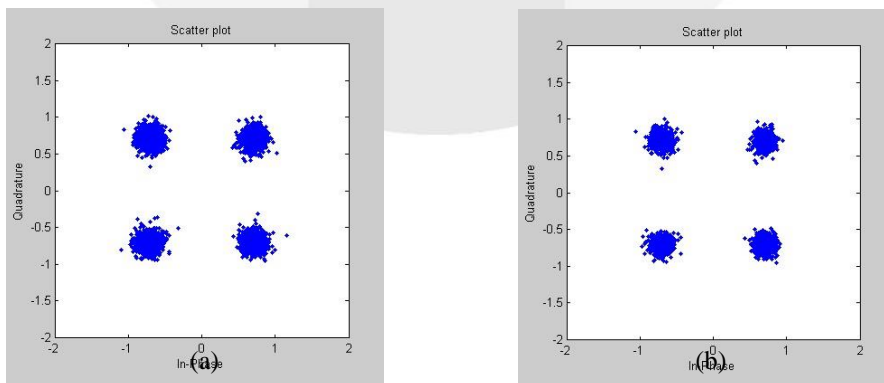


Gambar 8 Grafik BER terhadap E_b/N_0 sistem MIMO-OFDM 2x2 pada kanal *bad urban* pada berbagai kondisi *user*. (a)*User* dengan kecepatan 50km/jam, (b)*User* dengan kecepatan 120km/jam

Pada *user* dengan kecepatan 120km/jam, penggunaan SIC dapat memperbaiki performansi sistem. Perbedaan nilai E_b/N_0 untuk mencapai BER sebesar 10^{-6} antara sistem dengan SIC dan tanpa SIC sekitar 3,3dB. Sistem dengan SIC membutuhkan E_b/N_0 sekitar 12,7dB dan sistem tanpa SIC membutuhkan E_b/N_0 sebesar 16dB. Pada sistem MIMO-OFDM menggunakan SIC, BER 10^{-6} didapatkan ketika nilai E_b/N_0 sekitar 10,8dB. Sedangkan pada MIMO-OFDM tanpa SIC, BER 10^{-6} didapatkan ketika nilai E_b/N_0 sekitar 15dB. Terdapat perbedaan sebesar 4,2dB antara sistem MIMO-OFDM dengan SIC dan tanpa SIC pada BER 10^{-6} . Penerapan SIC pada MIMO-OFDM 2x2 terbukti dapat mengatasi *co-channel interference* yang disebabkan oleh perubahan matriks kanal yang cepat antar simbol yang dikirim.

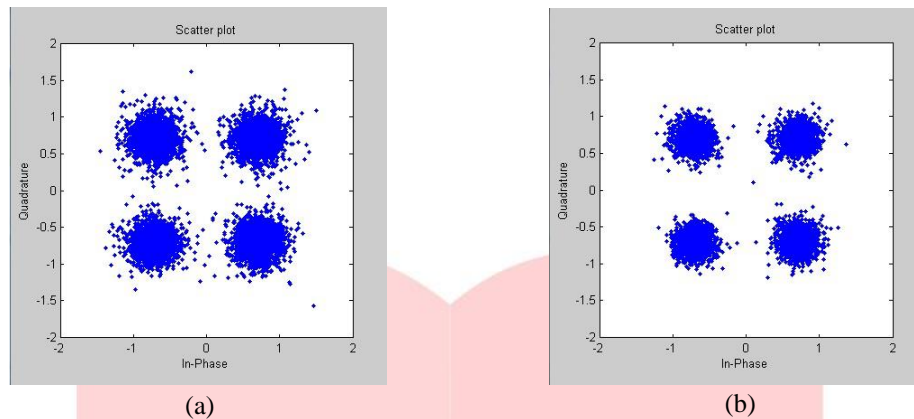
3.3.2 Diagram Konstelasi Hasil Simulasi

Pada gambar 9 dimana *user* bergerak dengan kecepatan 50km/jam. Terlihat sedikit perubahan pada diagram konstelasi pada sistem dengan SIC dan tanpa SIC. nilai g_2 dan g_3 sesuai dengan persamaan (14) yang mengindikasikan *co-channel interference* masih relatif kecil sehingga tidak mempengaruhi deteksi simbol.



Gambar 9 Diagram konstelasi MIMO-OFDM kondisi *user* dengan kecepatan 50km/jam, (a) tanpa SIC dan (b) dengan SIC

Pengaruh penggunaan SIC terlihat pada saat user dalam kondisi bergerak dengan kecepatan sebesar 120km/jam. Pada gambar 10(a), psosisi simbol masih tampak tersebar walaupun mayoritas simbol berada pada region yang sesuai dengan demodulatornya. Sedangkan pada gambar 10(b), simbol mengalami perbaikan pada nilai *in-phase* dan *quadrature* akibat penggunaan SIC. Perbaikan ini akan mengurangi error pada bit hasil demodulasi, sehingga nilai BER pada E_b/N_0 yang sama akan lebih kecil apabila menerapkan SIC.



Gambar 10. Diagram konstelasi MIMO-OFDM kondisi *user* dengan kecepatan 120km/jam, (a) tanpa SIC dan (b) dengan SIC

4. Kesimpulan

Penerapan metode SIC pada sistem MIMO-OFDM dan MISO-OFDM dapat meningkatkan performansi kinerja sistem pada kanal *fast fading* yang ditandai dengan perbaikan nilai BER pada beberapa kondisi kecepatan user yang berbeda. SIC akan menghilangkan sinyal penginterferensi yang berasal dari simbol pada antenna lain. Perbaikan juga terlihat pada posisi simbol dalam diagram konstelasi sebelum simbol melalui proses demodulasi sehingga kesalahan pada proses demodulasi berkurang.

Daftar Pustaka

1. Agrawal, D., Tarokh, V., Naguib, A., & Seshadri, N. (1998). Space-Time Coded OFDM for High Data-Rate Wireless Communication over Wideband Channels. *Vehicular Technology Conference, 1998. VTC 98. 48th IEEE, Vol. 3*, 2232-2236.
2. Alamouti, S. (1998). A Simple Transmit Diversity Scheme for Wireless Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 16(8)*, 1451-1458.
3. Cho, Y. S., Kim, J., Yang, W. Y., & Kang, C. G. (2010). *MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB*. Singapore: John Wiley & Sons.
4. Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. New York: Cambridge University Press.
5. IEEE LAN/MAN Standard Committee and Others. (2012). *Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems (Vol. 4)*. New York: IEEE.
6. Lee, K. F., & Williams, D. B. (2000). A Space-Time Coded Transmitter Diversity Technique for Frequency Selective Fading Channels. *Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop. 2000. Proceedings of the 2000 IEEE*, 149-152.
7. Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communication : Principles & Practice*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
8. Sen, S., Santhapuri, N., Choudhury, R. R., & Nelakuditi, S. (2010). *Successive Interference Cancellation: A Back-of-the-Envelope Perspective*. Monterey: Hotnets'10.
9. Wee, J. W., Lee, Y. S., & Jeon, W. G. (2005). Successive Interference Cancellation for STBC-OFDM Systems in a Fast Fading Channel. *Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st*, 841-844.