



Analisis Kinerja Kombinasi Sistem CDMA-OFDM dengan MIMO

Valen Awirya¹, Sukiswo², Ajub Ajulian Zahra²

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
2. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstract

Wireless transmission system is hampered by a condition that causes multipath channel fading at the receiver. It required transmission technologies that are resistant to multipath channel conditions. One is multiple access technology combination of OFDM and CDMA. To further increase the interference immunity of signal channel is carried out in combination with the MIMO antenna diversity technology. This final project is to make simulation of multiple access technologies CDMA-OFDM combined with MIMO. The parameters varied are the number of the receiving antenna and the speed of the user. Channel used is the Rayleigh channel and Additive White Gaussian Noise (AWGN). The performance of the system can be measured Bit Error Rate (BER) compared to the value of E_b / N_0 . Performance of 2x5 MIMO system with the speed of the user 5 km/h produces E_b / N_0 3 dB lower than 2x3 MIMO and 1,5 dB lower than 2x4 MIMO to achieve the target BER 10^{-3} . Performance of 2x5 MIMO system with the speed of the user 40 km/h produces E_b / N_0 4 dB lower than 2x3 MIMO and 1 dB lower than 2x4 MIMO to achieve the target BER 10^{-3} . At speeds of 80 km/h, the performance of MIMO CDMA-OFDM system worst found on 2x3 MIMO scheme, the target BER 10^{-3} can not be fulfilled on the value of $E_b / N_0 = 30$. 2x4 and 2x5 schemes provide better performance with a value of E_b / N_0 of 8 dB and 4 dB to achieve the target BER. The increase in user speed degrade the performance of MIMO CDMA-OFDM system. With 2x5 MIMO scheme on the user speed 5 km/h, the target BER 10^{-3} is reached on the value of E_b / N_0 of about 1 dB. While at the speed of 40 km/h and 80 km/h achieved at E_b / N_0 value of about 2 dB and 4 dB.

Keyword : CDMA, OFDM, MIMO, Rayleigh, AWGN

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi kian hari kian pesat, hal ini terjadi karena tuntutan jaman yang mengharuskan data diproses dan ditransfer dengan cepat. Dengan semakin banyaknya pelanggan yang menggunakan sistem telekomunikasi, muncul permasalahan yaitu bagaimana meningkatkan kapasitas sistem di daerah yang permintaannya besar. Selain jumlah pengguna dan kecepatan data, keterbatasan spektrum frekuensi juga menjadi masalah utama dalam dunia telekomunikasi saat ini. Penggunaan kanal *wireless* sebagai medium, menimbulkan permasalahan bagaimana mengatasi gangguan pada kondisi lintasan yang jamak atau *multipath fading* yang dapat menurunkan kualitas sinyal.

OFDM merupakan teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier* satu dengan yang lain saling ortogonal. Karena sifat ortogonalitas ini, maka antar *subcarrier* yang berdekatan bisa dibuat *overlapping* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI). Hal ini akan membuat sistem OFDM mempunyai efisiensi spektrum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan teknik modulasi *multicarrier* konvensional.

CDMA (*Code Division Multiple Access*) merupakan suatu sistem *multiple access* yang digunakan untuk mengirimkan beberapa jalur informasi secara bersamaan, dengan menggunakan korelasi kode untuk membedakan *user* yang satu dengan yang lainnya. Dengan dikombinasikan dengan OFDM maka sistem ini akan lebih tahan terhadap *multipath* dan penggunaan spektrum yang lebih hemat.

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) adalah suatu teknologi yang muncul menggunakan prinsip memperbanyak sinyal informasi yang ditransmisikan dengan tujuan meningkatkan *data rate* dalam *range* yang lebih besar tanpa adanya tambahan lebar pita atau daya transmisi. Sistem ini menggunakan sejumlah antena pengirim dan sejumlah antena penerima. Sinyal informasi dikirimkan pada ruang dan waktu yang berbeda. Hal tersebut dapat mengatasi kanal *multipath* dan menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga saling mendukung atau tidak saling menggagalkan.

Kombinasi MIMO CDMA-OFDM diharapkan mampu menghasilkan sistem yang lebih baik dengan menggabungkan keunggulan masing-masing sistem. Penelitian tentang kombinasi CDMA, OFDM dan MIMO sebelumnya telah dilakukan oleh Delsina Faiza dari Teknik Telekomunikasi ITB dalam bentuk tesis. Dalam tesis tersebut dibahas perbandingan unjuk kerja sistem STBC dengan teknik MC-CDMA pada skema sistem yang berbeda^[1] Penelitian lainnya telah membahas performansi sistem dengan algoritma deteksi ZF dan MMSE.^[5] Penelitian berikutnya membahas tentang kinerja sistem dengan kode spreading yang berbeda.^[3]

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM pada kanal AWGN dan Rayleigh fading.

1.3 Batasan Masalah

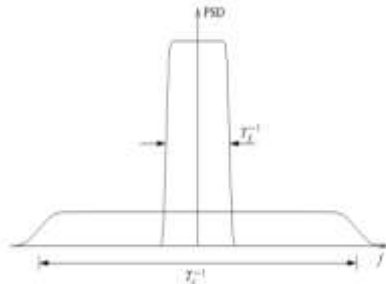
Agar pembahasan atau analisis tidak melebar dan terarah, maka permasalahan dibatasi pada :

1. Sinyal masukan adalah data digital acak.
2. Jumlah *chip* kode PN 32 *chip*.
3. Hanya menggunakan Kode Walsh sebagai kode PN.
4. Jumlah *subcarrier* yang digunakan 256 *subcarrier*.
5. Modulasi digital yang digunakan adalah QPSK.
6. Kanal yang digunakan adalah kanal dengan derau gaussian (AWGN) dan *Rayleigh fading*.
7. Simulasi hanya difokuskan pada unjuk kerja sistem MIMO CDMA-OFDM pada variasi skema MIMO dan variasi kecepatan pengguna.
8. Menggunakan sistem MIMO STBC Alamauti dengan jumlah antena pengirim 2 dan variasi jumlah antena penerima adalah 3, 4, dan 5 antena.
9. Variasi kecepatan yang digunakan adalah 5 km/jam, 40 km/jam, dan 80 km/jam pada frekuensi kerja 900 Mhz.
10. Penerima sistem diasumsikan memiliki informasi respon kanal dan derau dengan sempurna sehingga pengiriman sinyal pilot tidak disimulasikan.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem CDMA

CDMA adalah teknik modulasi dan akses jamak berdasarkan teknik *spread spectrum direct sequence* dimana pengiriman sinyal menduduki lebar pita frekuensi melebihi spektrum minimal yang dibutuhkan. *Direct sequence* merupakan suatu teknik spektrum tersebar dimana pita frekuensi diperlebar dengan cara menambah kecepatan bit data. Hal ini dilakukan dengan mengalikan tiap-tiap bit data dengan sejumlah sub bit yang dinamai *chips*.



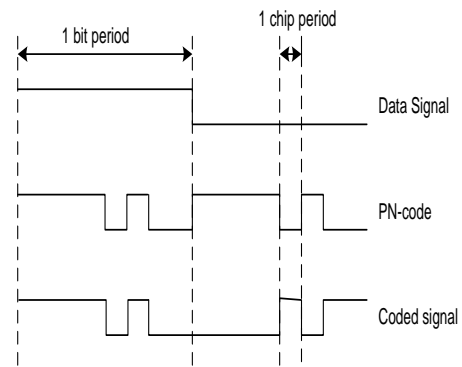
Gambar 1 Bentuk spektrum sinyal *direct sequence*.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa transmisi spektrum tersebar menduduki pita frekuensi yang lebar mengakibatkan rapat spektral daya yang rendah bahkan di bawah level derau. Sehingga sistem ini memiliki keunggulan dalam mengatasi derau.

2.2 Kode PN

Inti dari sistem *spread spectrum* adalah penyebaran energi data pada sisi pengirim dan pengembalian ke bentuk narrowband pada sisi penerima. *Pseudo random noise code* digunakan dalam proses tersebut. Kode PN adalah rangkaian bit dengan kecepatan tinggi yang bernilai polar dari 1 ke -1 atau non polar 1 ke 0. Pemakaian sejumlah *chip* kode ini dimaksudkan untuk mendapatkan sinyal-sinyal asli dalam bit-bit kecil kode PN. Hal ini dilakukan dengan mengalikan sinyal asli termodulasi dengan kode PN berkecepatan tinggi yang akan membagi sinyal menjadi bit-bit kecil, oleh karena itu lebar pita frekuensi menjadi bertambah.

Proses diatas ditunjukkan pada Gambar 2 jumlah kode *chip* yang dipakai untuk melebarkan pita frekuensi berbanding lurus dengan jumlah *chip* yang digunakan.



Gambar 2 Proses pengkodean bit data dengan kode PN.

2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). OFDM diterapkan kepada sinyal yang telah termodulasi, sebagai modulasi tingkat kedua. Caranya yaitu dengan membagi data secara paralel pada sejumlah subkanal pita sempit, lalu masing-masing data pada subkanal tersebut dimodulasikan dengan subfrekuensi pembawa yang saling orthogonal, selanjutnya ditransmisikan secara simultan. OFDM memungkinkan pengiriman aliran data kecepatan tinggi dengan membaginya ke dalam aliran-aliran berkecepatan rendah. Proses yang dilakukan sama dengan teknik modulasi multicarrier, yang membedakan adalah penggunaan subpembawa yang saling orthogonal pada masing-masing subkanal

2.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

Tuntutan peningkatan *data rate* dan kualitas layanan suatu sistem komunikasi *wireless* memicu lahirnya teknik baru untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas saluran. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan multi antena pada sisi pengirim dan penerima, teknik ini dikenal dengan *Multiple Input Multiple Output* (MIMO). Prinsip kerja MIMO adalah memperbanyak sinyal informasi yang di pancarkan untuk meningkatkan kemampuan komunikasi dan mengurangi *error* yang dapat terjadi akibat kanal transmisi

2.5 Space Time Block Code (STBC)

Skema transmisi *Space Time Block Code* (STBC) merupakan skema transmisi yang diperkenalkan oleh Alamouti pada tahun 1998. *Space Time Block Code* (STBC) adalah skema yang digunakan dalam teknik *transmit diversity* untuk mencapai *diversity gain* pada sistem MIMO.

$$\begin{matrix}
 & T_{x0} & T_{x1} \\
 t & \begin{bmatrix} S_0 & S_1 \end{bmatrix} \\
 t+1 & \begin{bmatrix} -S_1^* & S_0^* \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

Gambar 3 Skema matriks transmisi STBC

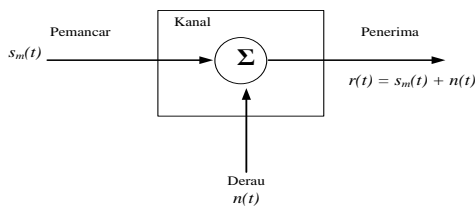
Pada saat t , T_{x0} memancarkan sinyal S_0 dan T_{x1} memancarkan sinyal S_1 , kemudian saat $t+1$, T_{x0} memancarkan sinyal $-S_1^*$ dan T_{x1} memancarkan sinyal S_0^* . Tanda * merupakan operasi konjugat.

2.6 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK atau *quadrature-PSK* adalah bentuk lain dari modulasi digital selubung konstan termodulasi sudut. QPSK adalah teknik pengkodean *M-ary*. Dalam QPSK ada empat phase keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda. Karena masukan digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner (dasar 2), maka untuk menghasilkan empat kondisi masukan yang berbeda harus dipakai bit masukan lebih dari satu bit tunggal. Menggunakan 2 bit, ada empat kondisi yang mungkin: 00, 01, 10 dan 11.

2.7 Kanal AWGN

Dalam komunikasi, kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) adalah suatu kanal dimana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari *white noise* dengan kerapatan spektrum yang konstan dan distribusi *Gaussian* dari *sample noise*.



Gambar 4 Pemodelan kanal AWGN

2.8 Kanal Rayleigh Fading

Dalam komunikasi seluler, tentunya jarang sekali terjadi hubungan langsung saja. Sinyal banyak mengalami pantulan dimana-mana, sehingga terdapat berbagai macam jalur yang dilalui sinyal untuk sampai ke penerima (*multipath*). Antara sinyal yang pancarannya melalui *multipath* tersebut dapat berinterferensi positif maupun negatif sehingga pada penerima terlihat bahwa sinyal tersebut berfluktuasi. Efek fluktuasi sinyal ini biasa disebut dengan *fading*. *Fading* juga dapat terjadi karena efek doppler, yang terjadi jika *user* bergerak dengan kecepatan relatif terhadap *base station*. Salah satu pemodelan kanal *multipath* adalah distribusi *Rayleigh*. Persamaan umum *probability density function* (pdf) distribusi *Rayleigh* adalah sebagai berikut :

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad 0 \leq r \leq \infty \dots \dots \dots (1)$$

r adalah magnitude dan σ adalah nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum detektor, dan σ^2 adalah daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima.

Pengaruh perpindahan pengguna dijabarkan oleh rumus:

$$fd = \left(\frac{vf}{c}\right) \cos \theta \dots \dots \dots (2)$$

dimana *f* adalah frekuensi carrier, *v*= kecepatan pengguna, *c* kecepatan cahaya, θ sudut gelombang dan *fd* adalah frekuensi *doppler*.

2.9 Parameter Eb/No

E_b/N_0 (*energy per bit to noise power spectral density ratio*) 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*).

2.10 Bit Error Rate (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).

III. PROGRAM SIMULASI

Simulasi sistem MIMO CDMA-OFDM ini menggunakan program MATLAB versi 7.6. Pemodelan sistem ini menggunakan MATLAB karena mudah digunakan dan memiliki fasilitas yang lengkap terutama dalam simulasi perancangan komunikasi *wireless*, sehingga parameter dalam sistem dapat divariasikan dan diuji dengan mudah. Untuk mempermudah penggunaannya, maka tampilan program dibuat menggunakan fasilitas GUI (*Graphical User Interface*) yang telah tersedia di MATLAB.

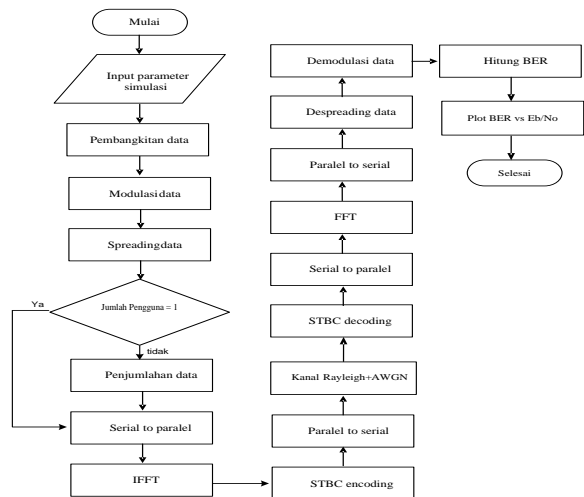
Secara keseluruhan simulasi kombinasi teknik CDMA-OFDM dengan MIMO yang di simulasi antara lain:

1. Simulasi kinerja sistem dengan penambahan antena penerima pada masing – masing skema antena MIMO dengan variasi kecepatan pengguna, sedangkan parameter lainnya tetap.
2. Simulasi sistem dengan variasi kecepatan pengguna pada sistem dengan skema MIMO 2x5, sedangkan parameter lainnya tetap.
3. Simulasi sistem pada kecepatan pengguna random dan divariasikan dengan 3 skema antena MIMO.

Simulasi ini menggunakan parameter sebagai berikut:

Tabel 1 Nilai parameter simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah pengguna	32
Panjang kode PN	32
Modulasi	QPSK
Jumlah subcarrier	256
Jumlah antena pengirim	2
Jumlah antena penerima	3, 4, dan 5
Kanal	Rayleigh+AWGN
Frekuensi carrier	900 MHz
Kecepatan pengguna	5 km/jam, 40 km/jam, 80 km/jam



Gambar 5 Diagram alir simulasi.

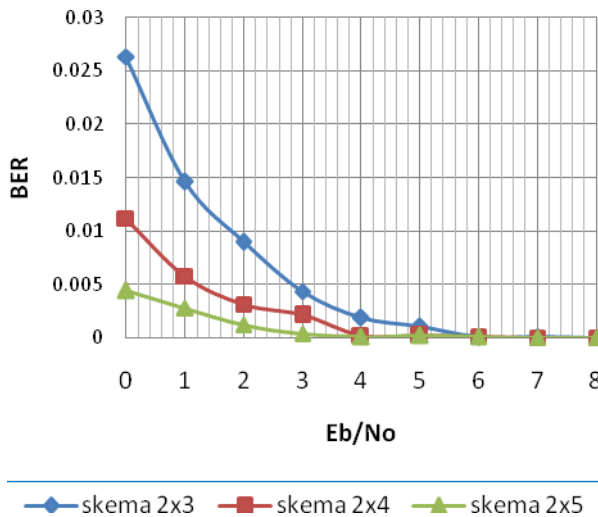
IV. PENGUJIAN dan ANALISIS

4.1 Pengaruh Skema Antena MIMO Terhadap Sistem MIMO CDMA-OFDM pada Kecepatan Pengguna 5 km/jam

Simulasi sistem MIMO CDMA-OFDM ini difokuskan pada pengaruh skema MIMO pada sistem. Simulasi dilakukan pada kecepatan pengguna 5 km/jam. Pada kecepatan ini diasumsikan penggunaan sistem pada saat pengguna sedang berjalan dengan kecepatan 5 km/jam.^[13] Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Nilai BER terhadap Eb/No hasil simulasi pada variasi skema MIMO dengan kecepatan pengguna 5 km/jam.

Eb/No (dB)	BER		
	Skema 2x3	Skema 2x4	Skema 2x5
0	0.026337	0.011169	0.004425
1	0.014648	0.005768	0.002808
2	0.008972	0.003113	0.00119
3	0.004364	0.002136	0.000366
4	0.001862	0.000244	6.10E-05
5	0.001038	0.000214	0.000214
6	6.10E-05	0.000122	6.10E-05
7	0.000153	0	0
8	3.05E-05	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0



Gambar 6 Grafik perbandingan kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM dengan skema MIMO 2x3, 2x4, dan 2x5 pada kecepatan pengguna 5 km/jam.

Gambar 6 menunjukkan semakin banyak antena penerima pada sistem maka semakin baik kinerja sistem. Pada skema 2x3, rasio derau terburuk memberikan nilai BER = 0.026337. Sedangkan pada skema 2x4 nilai BER lebih rendah sebesar 0.011169, dan pada skema 2x5 diperoleh nilai BER paling rendah sebesar 0.004425. Pada sistem dengan skema antena MIMO 2x3 target BER 10^{-3} memerlukan nilai Eb/No sekitar 5 dB. Sedangkan pada sistem

dengan skema antena MIMO 2x4 memberikan gain sebesar 1,5 dB dibandingkan dengan skema 2x3. Sistem dengan skema antena MIMO 2x5 menunjukkan kinerja paling baik dibandingkan pada sistem dengan skema antena MIMO 2x3 dan 2x4. Perbaikan kinerja sistem diperoleh sekitar 3 dB dibandingkan dengan skema 2x3 dan 1,5 dB dibandingkan dengan skema 2x4.

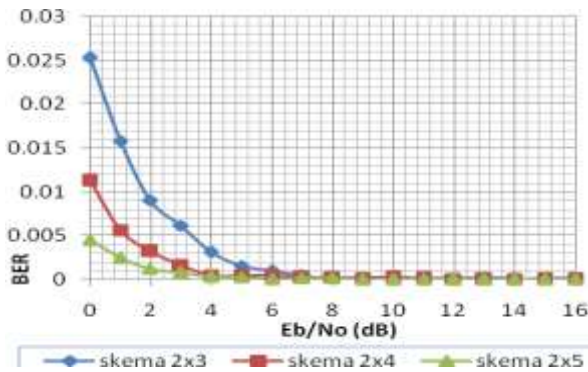
Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa penambahan antena penerima memberikan perbaikan kinerja. Hal ini bisa terjadi karena semakin banyak antena pada penerima, maka akan ada semakin banyak sinyal informasi yang dikirim sehingga saling membantu untuk mengurangi efek fading. Dengan demikian akan memperbaiki kualitas sinyal di penerima.

4.2 Pengaruh Skema Antena MIMO Terhadap Sistem MIMO CDMA-OFDM pada Kecepatan Pengguna 40 km/jam

Simulasi ini akan menguji sistem dengan variasi skema MIMO pada kecepatan pengguna 40 km/jam. Pada simulasi ini diasumsikan penggunaan sistem pada saat pengguna sedang berkendara dengan kecepatan 40 km/jam. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Nilai BER terhadap Eb/No hasil simulasi pada variasi skema MIMO pada kecepatan pengguna 40 km/jam.

Eb/No (dB)	BER		
	skema 2x3	skema 2x4	skema 2x5
0	0.025299	0.01123	0.004486
1	0.015808	0.005615	0.002441
2	0.009064	0.003204	0.001221
3	0.006165	0.001679	0.000732
4	0.003082	0.000458	0.000336
5	0.001556	0.000458	0.000275
6	0.000946	0.000458	3.05E-05
7	0.000427	0.000214	0.000183
8	0.000183	0.000244	0.000153
9	0.000244	0.000153	0
10	0.000244	0.000214	0
11	0.000153	0.000122	0
12	0.000153	6.10E-05	0
13	0.000275	0	0
14	9.16E-05	6.10E-05	0
15	0.000122	0	0
16	0.000122	0.00E+00	0



Gambar 7 Grafik perbandingan kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM dengan skema MIMO 2x3, 2x4, dan 2x5 pada kecepatan pengguna 40 km/jam.

Gambar 7 terlihat bahwa pada kecepatan pengguna 40 km/jam kinerja sistem menunjukkan perbaikan seiring dengan semakin bertambahnya antenna penerima. Pada skema 2x3, derau terburuk memberikan nilai BER = 0,025299. Sedangkan pada skema 2x4 nilai BER lebih rendah sebesar 0,01123, dan pada skema 2x5 diperoleh nilai BER paling rendah sebesar 0,004486. Pada sistem dengan skema antenna MIMO 2x3 target BER 10⁻³ memerlukan nilai Eb/No sekitar 6 dB. Pada sistem dengan skema antenna MIMO 2x4 memberikan perbaikan kinerja sebesar 1 dB dibandingkan dengan skema 2x3. Pada skema 2x5 diperoleh kinerja paling baik dengan memberikan perbaikan kinerja 4 dB dan 3 dB dibandingkan dengan skema 2x3 dan 2x4.

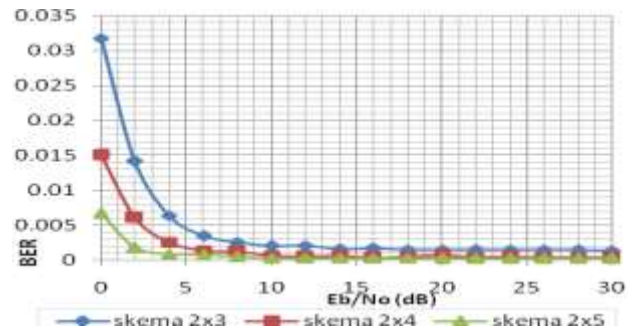
Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa penambahan antenna penerima memberikan perbaikan kinerja. Hal ini bisa terjadi karena semakin banyak antenna pada penerima, maka akan ada semakin banyak sinyal informasi yang dikirim sehingga saling membantu untuk mengurangi efek fading. Dengan demikian akan memperbaiki kualitas sinyal di penerima.

4.3 Pengaruh Skema Antena MIMO Terhadap Sistem MIMO CDMA-OFDM pada Kecepatan Pengguna 80 km/jam

Pada simulasi ini diasumsikan penggunaan sistem pada saat pengguna sedang berkendara dengan kecepatan 80 km/jam. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Nilai BER terhadap Eb/No hasil simulasi pada variasi skema MIMO pada kecepatan pengguna 80 km/jam.

Eb/No (dB)	BER		
	skema 2x3	skema 2x4	skema 2x5
0	0.031769	0.015015	0.006653
2	0.01416	0.006043	0.001831
4	0.006317	0.002533	0.000885
6	0.003418	0.001312	0.000671
8	0.002533	0.00116	0.000458
10	0.001984	0.00061	0.000275
12	0.002045	0.000427	0.000275
14	0.001495	0.00058	0.000275
16	0.001617	0.000305	0.000244
18	0.001465	0.000519	0.000244
20	0.001434	0.000671	0.000214
22	0.001404	0.000397	0.000183
24	0.001434	0.000427	0.000183
26	0.001465	0.000366	0.000183
28	0.001404	0.000366	0.000183
30	0.001343	0.000305	0.000183



Gambar 8 Grafik perbandingan kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM dengan skema MIMO 2x3, 2x4, dan 2x5 pada kecepatan pengguna 80 km/jam.

Gambar 8 merupakan grafik perbandingan kinerja MIMO CDMA-OFDM pada skema MIMO 2x3, 2x4, dan 2x5 pada kecepatan pengguna 80 km/jam. Penambahan antenna penerima pada skema MIMO memberikan perbaikan kinerja yang signifikan. Pada skema 2x3, derau terburuk memberikan nilai BER = 0.031769. Sedangkan pada skema 2x4 nilai BER lebih rendah sebesar 0.015015, dan pada skema 2x5 diperoleh nilai BER paling rendah sebesar 0.006653. Untuk mencapai target BER 10⁻³, sistem dengan skema 2x3 membutuhkan nilai Eb/No lebih dari 30 dB. Sedangkan kinerja lebih baik diperoleh pada skema 2x4, target BER tercapai pada nilai Eb/No sekitar 8 dB. Kinerja paling baik diperoleh pada skema 2x5, target BER tercapai pada nilai Eb/No sekitar 4 dB.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa penambahan antenna penerima memberikan perbaikan kinerja. Hal ini bisa terjadi karena semakin banyak antenna pada penerima, maka akan ada semakin banyak sinyal informasi yang dikirim sehingga saling membantu untuk mengurangi efek fading. Dengan demikian akan memperbaiki kualitas sinyal di penerima.

4.4 Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap Sistem MIMO CDMA-OFDM

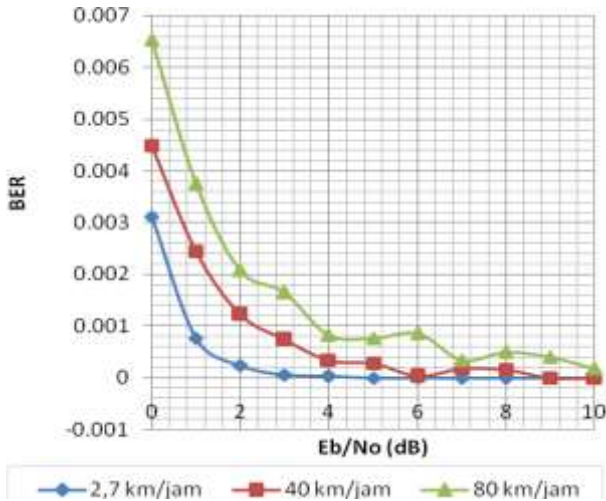
Pada simulasi ini akan dianalisa pengaruh kecepatan pengguna terhadap sistem MIMO CDMA-OFDM. Untuk simulasi ini digunakan MIMO dengan skema 2x5.

Setelah dilakukan simulasi diperoleh nilai BER terhadap Eb/No seperti terlihat pada table 5.

Tabel 5 Nilai BER terhadap Eb/No pada variasi kecepatan pengguna .

Eb/No (dB)	BER		
	5 km/jam	40 km/jam	80 km/jam
0	0.003113	0.004486	0.006531
1	0.000763	0.002441	0.003754
2	0.000244	0.001221	0.002075
3	6.10E-05	0.000732	0.001648
4	3.05E-05	0.000336	0.000824
5	0	0.000275	0.000763
6	0	3.05E-05	0.000854
7	0	0.000183	0.000336
8	0	0.000153	0.000488
9	0	0	0.000397
10	0	0	0.000183

Grafik untuk Tabel 5 ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9 Grafik perbandingan kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM dengan skema MIMO 2x5 pada kecepatan pengguna 5 km/jam, 40 km/jam, dan 80 km/jam.

Dari simulasi ini diperoleh kecepatan pengguna sangat mempengaruhi kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM. Pada kecepatan pengguna 5 km/jam, rasio Eb/No= 0, memberikan nilai BER = 0,003113. Sedangkan pada kecepatan 40 km/jam nilai BER lebih tinggi sebesar 0,004486. Demikian pula dengan kecepatan 80 km/jam, nilai BER semakin tinggi sebesar 0,006531. Untuk mencapai target BER 10⁻³ dibutuhkan nilai Eb/No sekitar 1 dB pada kecepatan 5 km/jam. Sedangkan pada kecepatan pengguna 40 km/jam, sistem mengalami penurunan kinerja sebesar 1 dB. Penurunan kinerja juga dialami pada sistem dengan kecepatan pengguna 80 km/jam, target BER 10⁻³ tercapai pada nilai Eb/No sekitar 4 dB. Ini berarti terjadi penurunan kinerja sekitar 3 dB dan 2 dB dibandingkan dengan sistem dengan kecepatan pengguna 5 km/jam dan 40 km/jam.

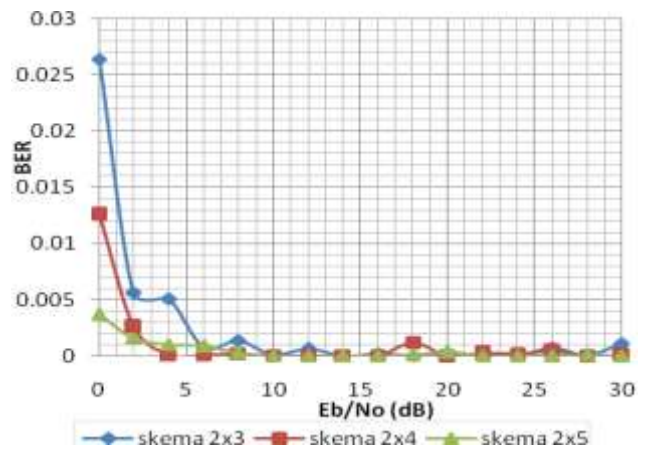
Kecepatan pengguna atau pergerakan relatif antara pemancar dan penerima akan menimbulkan pelebaran spektrum yang disebabkan oleh laju perubahan waktu terhadap kanal. Jika suatu sinyal sinusoidal murni fc dipancarkan, spektrum sinyal terima yang dinamakan spektrum doppler akan memiliki range frekuensi fc-fd sampai fc+fd, dimana fd adalah pergeseran Doppler, sehingga menyebabkan modulasi frekuensi yang acak sesuai dengan efek Doppler pada setiap komponen *multipath*. Semakin besar kecepatan pengguna maka pergeseran Doppler juga akan semakin besar. Hal ini akan mengakibatkan fluktuasi sinyal semakin cepat yang akan menurunkan kualitas sinyal terima.

4.5 Unjuk Kerja Sistem MIMO CDMA-OFDM pada Kecepatan Pengguna Random antara 5 km/jam - 80 km/jam.

Pada simulasi ini akan dianalisis kinerja sistem pada kecepatan pengguna yang diacak antara 5 km/jam-80 km/jam pada setiap nilai Eb/No-nya. Simulasi ini menggunakan skema MIMO 2x3, 2x4, dan 2x5. Setelah dilakukan simulasi pada sistem MIMO CDMA-OFDM dengan kecepatan pengguna random antara 5 km/jam - 80 km/jam, diperoleh hasil simulasi yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai BER terhadap Eb/No pada variasi skema MIMO dengan kecepatan pengguna random

Eb/No	BER		
	skema 2x3	skema 2x4	skema 2x5
0	0.02643	0.01257	0.00369
2	0.00565	0.00262	0.00159
4	0.0051	9.16E-05	0.00101
6	0.00076	9.16E-05	0.00089
8	0.00137	0.00018	0.00024
10	0.00012	0	0
12	0.00061	0	0
14	0	0	0
16	0.00018	0	0
18	0	0.00122	9.16E-05
20	0	0	0.00034
22	6.10E-05	0.00024	0
24	0	0.00021	0
26	0.00073	0.00043	3.05E-05
28	6.10E-05	0	0.00012
30	0.00113	6.10E-05	0



Gambar 10 Grafik perbandingan BER terhadap Eb/No dengan skema MIMO 2x3, 2x4, dan 2x5 pada kecepatan pengguna random.

Dari Gambar 10 dapat dilihat penambahan antenna penerima pada sistem MIMO CDMA-OFDM dengan kecepatan pengguna random memberikan perbaikan kinerja yang signifikan. Pada rasio Eb/No = 0, skema MIMO 2x3 memberikan nilai BER = 0,02643. Sedangkan pada skema 2x4 diperoleh BER lebih rendah sebesar 0,01257. Skema 2x5 menunjukkan kinerja paling baik ditunjukkan dengan nilai BER paling rendah sebesar 0,00369. Terjadi fluktuasi nilai BER yang tidak menentu seiring dengan bertambahnya nilai Eb/No. Hal ini terjadi karena kecepatan pengguna yang berubah secara random sehingga mengakibatkan kondisi kanal yang berbeda-beda pada setiap nilai Eb/No yang disimulasikan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan analisis pada sistem MIMO CDMA-OFDM adalah sebagai berikut :

1. Kinerja sistem dengan MIMO 2x5 pada kecepatan pengguna 5 km/jam menghasilkan Eb/No 3 dB lebih rendah dari MIMO 2x3 dan 1,5 dB lebih rendah dari MIMO 2x4 untuk mencapai target BER 10⁻³.
2. Kinerja sistem dengan MIMO 2x5 pada kecepatan pengguna 40 km/jam menghasilkan Eb/No 4 dB lebih rendah dari MIMO 2x3 dan 1 dB lebih rendah dari MIMO 2x4 untuk mencapai target BER 10⁻³.

3. Pada kecepatan 80 km/jam, kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM paling buruk didapat pada skema MIMO 2x3, target BER 10^{-3} belum bisa terpenuhi pada nilai $E_b/N_0 = 30$. Skema 2x4 dan 2x5 memberikan kinerja lebih baik dengan nilai E_b/N_0 sekitar 8 dB dan 4 dB untuk mencapai target BER.
4. Bertambahnya kecepatan pengguna menurunkan kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM. Dengan skema MIMO 2x5 pada kecepatan pengguna 5 km/jam, target BER 10^{-3} tercapai pada nilai E_b/N_0 sekitar 1 dB. Sedangkan pada kecepatan 40 km/jam dan 80 km/jam tercapai pada nilai E_b/N_0 sekitar 2 dB dan 4 dB.
5. Pada kecepatan pengguna random antara 5 km/jam sampai 80 km/jam, kinerja sistem MIMO CDMA-OFDM mengalami fluktuasi yang disebabkan oleh berubahnya kecepatan pengguna secara random pada setiap nilai E_b/N_0 . Skema MIMO 2x5 memberikan kinerja paling baik. Pada saat derau terburuk dicapai nilai BER = 0.00369. Sedangkan skema 2x3 dan 2x4 masing-masing bernilai 0.02643 dan 0.01257.

- [11]. Wibisono, Gunawan, Uke, Gunadi, *Konsep Teknologi Seluler*, Informatika, Bandung, 2007.
- [12]. Wu, Nan, L Hanzo, dkk, *Near-Capacity Multi-Functional MIMO Systems*, PDF File, Januari, 2011.
- [13]. _Walking, <http://en.wikipedia.org/wiki/walking>

5.2 Saran

Berikut beberapa saran yang bisa digunakan untuk penelitian lebih lanjut :

1. Menerapkan estimasi kanal pada sistem dengan mengirimkan sinyal pilot.
2. Menggunakan teknik MIMO yang lain untuk melihat kinerja sistem.
3. Menggunakan algoritma deteksi seperti LLSE,ZF,VBLAST atau yang lainnya pada penerima.

Daftar Pustaka

- [1]. Faiza, Delsina, *Kombinasi Space Time Block Code dengan Teknik MC-CDMA pada Sistem MIMO*, Tesis, ITB, Bandung, 2008.
- [2]. Hara, Shinsuke, Ramjee Prasad, *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communication*. Artech House, London, 2003.
- [3]. Nagarajan, V, P. Dananjayan, *Performance Analysis of MIMO MC-DS/CDMA System Using Chaotic Spreading Sequence*, 2010
- [4]. Rappaport, Theodore S, *Wireless Communications*, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [5]. Portier . F, *Performance of STBC MC-CDMA Systems Over Outdoor Realistic MIMO Channels* , France.
- [6]. Schulzeand, Henrik,Christian Luders, *Theory and Applications of OFDM and CDMA*, John Wiley & Son, West Sussex, 2005.
- [7]. Senopati, Fery A, *Analisis Kinerja Sistem Akses Jamak Pada Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Menggunakan Teknik Code Division Multiple Access (CDMA)*, Penelitian S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [8]. S.M. Alamouti, *Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication*, IEEE Journal on Select Areas in Communications, Vol.16, pp. 1451-1458, Okt. 1998.
- [9]. Tsoulos, George, *MIMO System Technology for Wireless Communication*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2006.
- [10]. Vucetic, Branka, Jinhong Yuan, *Space-Time Coding*, Wiley, West Sussex, 2003.