

Analisa Kinerja Sistem MIMO-OFDM Pada Estimasi Kanal LS Untuk Modulasi m-QAM

I Gede Puja Astawa
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
puja@eepis-its.edu

Ahmad Zainudin
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
zai@eepis-its.edu

Yoedy Mogiharto
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
yomoegiharto@eepis-its.edu

Imam Dui Agus Salim
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
imam_dui@eepis-its.edu

Masitah Ayu Wardani
Mahasiswa Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
masitahaywardani@gmail.com

Abstract—Kombinasi teknik *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dan *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), atau disebut MIMO-OFDM, merupakan pilihan yang menjanjikan untuk sistem transmisi data kecepatan tinggi di masa datang. Sistem MIMO-OFDM dapat membantu menghilangkan *Inter Symbol Interference* (ISI) yang disebabkan oleh kanal *multipath*. Untuk mengetahui kondisi kanal tersebut maka harus dilakukan estimasi kanal dengan menyisipkan pilot pada data yang dikirim. Pada penelitian ini dibuat sistem MIMO-OFDM dengan penerapan teknik estimasi kanal pada sistemnya. Penyusunan pilot menggunakan tipe blok (*Block Type*) sedangkan untuk metode estimasi kanalnya digunakan *Least Square* (LS). Hasil kinerja sistem ditunjukkan oleh kurva *Bit Error Rate* (BER) sebagai fungsi *Signal to Noise Ratio* (SNR) dengan parameter jumlah antena pemancar, jumlah antena penerima. Kinerja sistem dengan 4 antena pemancar lebih baik ± 1 dB dari 3 antena pemancar, lebih baik ± 6 dB dari 2 antena pemancar dan lebih baik ± 11 dB dari 1 antena pemancar.

Keywords—MIMO-OFDM, ISI, *multipath fading*, *block type*, *Least Square*, M-QAM

I. PENDAHULUAN

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan sebuah teknik modulasi *multi-carrier* yang sudah sangat dikenal dan diteliti banyak orang. Sistem OFDM membagi sederetan data informasi kecepatan tinggi menjadi beberapa deretan informasi kecepatan rendah yang tersusun paralel, sehingga memperlebar durasi simbol dan mampu mengurangi pengaruh *Inter Symbol Interference* (ISI) [1]. Teknik OFDM menyusun *bandwidth* beberapa *sub-subcarrier* saling tumpang tindih (*overlap*) secara *orthogonal* sehingga tidak menimbulkan *Inter Carrier Interference* (ICI).

Laju data dapat dinaikkan dengan menerapkan teknik MIMO, yang menawarkan penambahan kanal-kanal paralel dalam domain ruang, sehingga sistem MIMO-OFDM merupakan sebuah gabungan dua teknik yang mampu memenuhi kebutuhan sistem komunikasi dengan laju data yang sangat tinggi [1]. Teknik OFDM mengubah sebuah kanal

MIMO *frequency-selective* menjadi sekumpulan kanal-kanal MIMO *frequency-flat* yang tersusun paralel. Sehingga teknik MIMO-OFDM telah diteliti untuk dijadikan infrastruktur jaringan *wireless* masa depan [2]. Permasalahan utama pada sistem MIMO-OFDM ialah bagaimana mendapatkan dengan akurat dan tepat *Channel State Information* (CSI) untuk proses deteksi koheren simbol-simbol yang diterima. CSI dapat diperoleh salah satunya dari *training signal* yang dikirimkan oleh pengirim. Metode estimasi kanal dapat digunakan untuk mendapatkan CSI pada sistem MIMO-OFDM [3][4]. Rancangan *training signal* untuk sistem MIMO-OFDM sudah diteliti dalam [5]-[7]. Estimasi kanal dengan *training signal* dibagi dalam dua tipe, yaitu tipe blok (*block type*) dan tipe sisir (*comb type*). Pada tipe blok, sinyal pilot sebagai *training signal* disisipkan di sela-sela kanal frekuensi dalam interval blok-blok OFDM secara periodik. Sedangkan tipe sisir sinyal pilot disisipkan dalam setiap simbol OFDM dalam satu periode sela frekuensi tertentu.

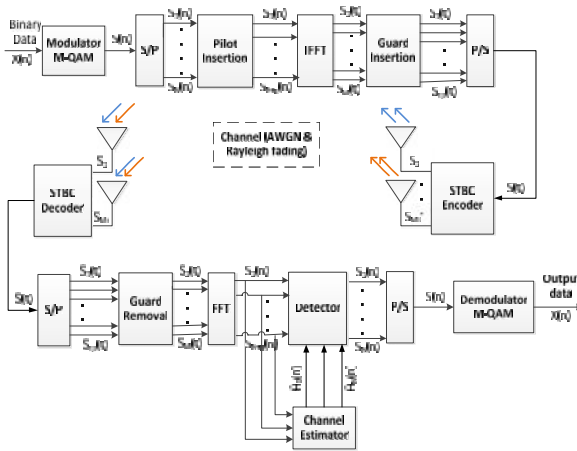
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisa kinerja teknik MIMO-OFDM pada penggunaan estimasi kanal melalui teknik LS dengan parameter jumlah antena pemancar dan penerima untuk m-QAM. Hasil analisa ditunjukkan oleh kurva *Bit Error Rate* (BER) sebagai fungsi *Signal to Noise Ratio* (SNR).

Struktur pembahasan penelitian dalam makalah ini adalah sebagai berikut. Di Bab I Pendahuluan, menjelaskan latar belakang dan tujuan penelitian yang dilakukan. Di Bab II Metode, menjelaskan metode penelitian yang dipergunakan. Di Bab III Hasil Simulasi, menjelaskan hasil – hasil simulasi program komputer dan diskusi. Kemudian di Bab IV Kesimpulan, menjelaskan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

II. METODE

Untuk mengetahui kinerja sistem MIMO-OFDM pada estimasi kanal dengan modulasi m-QAM, maka dilakukan

perancangan blok diagram sistem yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Blok diagram sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal

Pada sisi pemancar, deretan bit $\mathbf{X}(\mathbf{n})$ dalam domain frekuensi yang diinputkan secara serial pada sisi pemancar dimodulasi oleh modulator m-QAM menghasilkan deretan simbol $\mathbf{S}(\mathbf{n})$ dalam bentuk serial yang kemudian diparalelkan sebanyak N buah *subcarrier* menjadi $\mathbf{S}_N(\mathbf{n})$ yang dituliskan seperti persamaan 1 berikut :

$$S_N(n) = [S_1(n), S_2(n), \dots, S_N(n)] \quad (1)$$

Simbol-simbol ini disisipi pilot pada semua *subcarrier*-nya sepanjang satu simbol sesuai dengan aturan penyusunan pilot tipe blok (*block type*). Rasio penyisipan pilot yang digunakan adalah 1/11. Simbol-simbol yang telah disisipi pilot akan dimodulasi oleh IFFT sebanyak M buah *subcarrier* (sesuai dengan *size* FFT yang digunakan) sehingga dihasilkan simbol-simbol OFDM dalam domain waktu menurut persamaan 2 berikut :

$$S_M(t) = IFFT \{ S_{N+p}(n) \}, \quad t = 1, 2, 3, \dots, M$$

$$S_M(t) = \sum_{k=1}^M S \quad (2)$$

Pada proses IFFT ini terdapat proses *zero padding*, yaitu penambahan simbol sesuai dengan *size* FFT yang digunakan sehingga keluaran dari proses FFT ini akan menghasilkan simbol-simbol sebanyak *subcarrier* yang digunakan, yaitu $S_M(t)$ yang dituliskan seperti persamaan 3 di bawah ini :

$$S_M(t) = [S_1(t), S_2(t), \dots, S_M(t)] \quad (3)$$

Setelah blok IFFT, disisipkan *guard time* atau *Cyclic Prefix* (CP) yang durasinya ditetapkan lebih panjang dari *delay spread* untuk menghilangkan *Inter Symbol Interference* (ISI). CP diambil dari bagian belakang simbol OFDM, yaitu 1/4 dari *size* FFT, untuk menghilangkan *Inter-Carrier*

Interference (ICI). Simbol OFDM dinyatakan seperti persamaan 4 berikut dengan N_g adalah panjang CP.

$$S_{cp}(t) = \begin{cases} S(N+t), & t = -N_g, -N_g + 1, \dots, \\ S(t), & t = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (4)$$

sehingga keluaran dari blok *guard insertion* ini dapat dituliskan seperti persamaan 5 berikut :

$$S_{cp}(t) = [-S_{cp}(t), S_1(t), S_2(t), \dots, S_M(t)] \quad (5)$$

Simbol-simbol $S_{cp}(t)$ ini kemudian diserialkan menjadi $\mathbf{S}(t)$ dan dikodekan oleh *STBC Encoder* sejumlah S_{Mt} lalu dikirimkan melalui M_t buah antenna pemancar melewati kanal yang terdistribusi *Rayleigh* dan *Gaussian*. Matrik pentransmision sinyal ini menurut persamaan 6 sampai sesuai dengan jumlah antenna pemancar yang digunakan [8] :

(6)

$$S_2 = \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & -x_3 - x_4 & x_1^* & -x_2^* \\ x_2 x_1 & x_4 & -x_3 & x_2^* & x_1^* \\ x_3 - x_4 & x_1 x_2 & x_3 & -x_4^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$S_4 = \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & -x_3 - x_4 & x_1^* & -x_2^* \\ x_2 x_1 & x_4 & -x_3 & x_2^* & x_1^* \\ x_3 - x_4 & x_1 x_2 & x_3 & -x_4^* \\ x_4 x_3 & -x_2 x_1 & x_4 & x_3^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

dengan S_2 untuk 2 antenna pemancar, S_3 untuk 3 antenna pemancar dan S_4 untuk 4 antenna pemancar. Sinyal informasi yang diterima pada waktu ke-t pada antenna penerima ke-j dapat dituliskan seperti persamaan 9 di bawah ini :

$$r_t^j = \quad (9)$$

dengan :

- r_t^j = sinyal yang diterima oleh antenna penerima ke-j pada waktu ke-t
- x_i^i = sinyal yang dikirim oleh antenna pemancar ke-i pada waktu ke-t
- $h_{i,j}$ = koefisien kanal *Rayleigh fading*
- n_t^j = *noise* kanal yang diterima

Variabel *Rayleigh* dibangkitkan dari 2 variabel acak *Gaussian* (a_c dan a_s) dengan *mean* nol dan variansi σ^2 seperti persamaan 10 [9] :

(10)

Simbol-simbol yang diterima oleh M_r antenna penerima tersebut akan di-combiner kemudian didekodekan oleh *STBC*

Decoder sesuai dengan jumlah antenna pemancar M_t yang digunakan. Setelah itu dilewatkan blok *guard removal* untuk menghapus CP seperti persamaan 11 :

untuk $t = -$

$$r_t^j(t) = r_t^j(t + N_g), \quad \text{untuk } t = 0, 1, \dots, N - (11)$$

Simbol-simbol ini diterima dalam domain waktu kemudian oleh FFT didemodulasi sebanyak M buah *subcarrier* sehingga dihasilkan simbol-simbol OFDM dalam domain frekuensi berdasarkan persamaan 12 di bawah ini :

$$S(n) = FFT \{r(t)\}, \quad n = 1, 2, \dots, N - 1$$

$$S(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} r(t) \quad (12)$$

Setelah blok FFT, pada simbol-simbol yang berisi pilot dilakukan estimasi kanal dengan menggunakan *Least Square (LS) estimator* untuk mengetahui kondisi kanal yang kita bangkitkan. Proses estimasi ini dapat dituliskan seperti persamaan 13 :

$$h_e(k) = \frac{Y_p(k)}{X_p(k)}, \quad (13)$$

dengan Y_p adalah pilot keluaran proses FFT, X_p adalah pilot yang disisipkan sebelum proses IFFT dan N adalah jumlah *subcarrier* yang digunakan. Setelah dilakukan proses estimasi kanal, selanjutnya dilakukan proses pendeteksian sinyal untuk mendapatkan kembali sinyal informasi atau bit-bit data yang dikirimkan. Proses pendeteksian sinyal pada simulasi ini menggunakan *detector Zero Forcing (ZF)* yang persamaannya dapat dituliskan seperti persamaan 14 berikut :

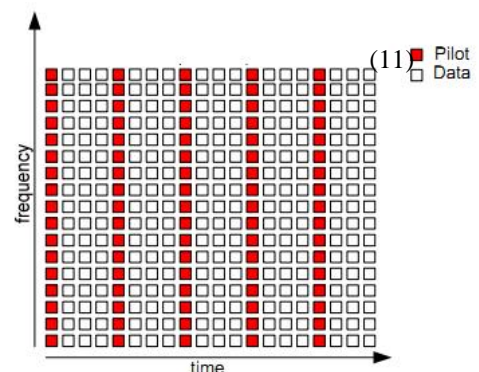
$$(14)$$

dengan y_n adalah sinyal/simbol yang diterima dan h_e adalah kanal hasil estimasi. Simbol-simbol tersebut didemodulasi oleh demodulator m-QAM sehingga didapatkan kembali deretan bit yang dikirimkan oleh pemancar.

2.1 Estimasi Kanal

Proses estimasi kanal ini dilakukan dengan menyisipkan pilot pada data yang ditransmisikan. Penyusunan letak pilot yang digunakan untuk melakukan estimasi kanal ada dua tipe, yaitu susunan tipe blok (*block type*) dan susunan tipe sisir (*comb type*). Pada penelitian ini hanya digunakan penyusunan pilot tipe blok dengan metode estimasi LS. Pada susunan tipe blok (*block type*), pilot disisipkan pada semua *subcarrier* sepanjang satu simbol. Ini dilakukan dengan asumsi bahwa karakteristik kanal tidak berubah secara drastis antara satu simbol dengan simbol berikutnya (*slow fading*). Penggunaan tipe blok baik dalam mengestimasi karakteristik kanal pada suatu simbol, tetapi kurang efisien karena pengiriman pilot dalam jumlah yang banyak membutuhkan *bandwidth* yang

besar juga sehingga tidak efisien dalam penggunaan *bandwidth*. Susunan pilot tipe blok ini digambarkan seperti gambar 2.



Gambar 2 Susunan pilot tipe blok (*Block Type*) [10]

Salah satu metode estimasi kanal yang dapat digunakan pada tipe blok (*block type*) adalah *Least Square (LS) Estimator*. Hubungan antara sinyal yang dikirim X_k dan sinyal yang diterima Y_k dapat dituliskan seperti persamaan 15 berikut :

$$(15)$$

Untuk sistem OFDM dengan N_c carriers, persamaan 15 di atas dapat dituliskan seperti persamaan 16 di bawah ini :

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_{N_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & X_{N_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ \vdots \\ H_{N_c} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_1 \\ \vdots \\ N_{N_c} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Pada sistem OFDM dengan penyisipan pilot tipe blok, estimasi LS dilakukan dengan memperkecil *square distance* antara sinyal yang diterima Y dan sinyal yang dikirim X . Metode estimasi kanal LS untuk tiap-tiap *subcarrier* dapat dituliskan seperti persamaan 17 berikut :

$$H_{LS}[k] = \frac{Y[k]}{X[k]}, \quad i \quad (17)$$

dengan N adalah jumlah *subcarrier* yang digunakan, Y adalah pilot hasil keluaran sesudah FFT dan X adalah pilot yang disisipkan sebelum IFFT.

2.2 Parameter Simulasi

Dalam pembuatan sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal digunakan beberapa parameter untuk dapat menjalankan sistem tersebut. Parameter yang digunakan seperti pada Tabel 1.

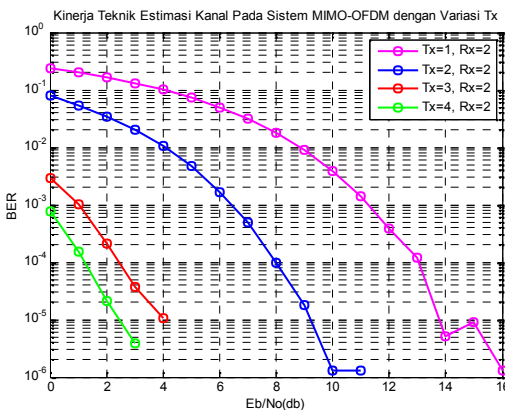
Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameters	Specification
FFT Size	256, 512, 1024
Subcarrier data	128
Pilot Ratio	1/11
Pilot Type	Block
Subcarrier pilot	128
Channel Estimator	Least Square (LS)
Signal Constellation	4-QAM, 16-QAM, 64-QAM
Channel Model	AWGN, Rayleigh Fading

III. HASIL SIMULASI

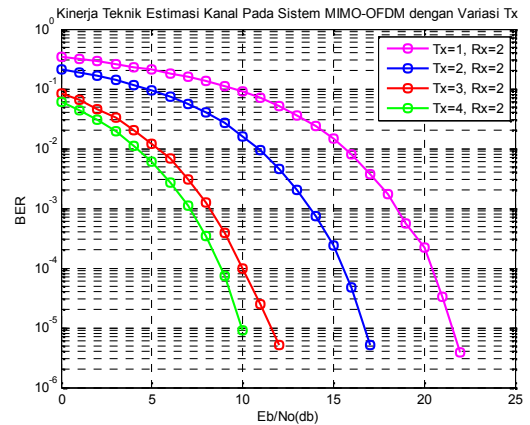
3.1 Hasil Simulasi dan Analisa Untuk Perbandingan Jumlah Antena Pemancar

Pada simulasi ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja sistem yang menggunakan 2 antena penerima dengan 1 sampai 4 antena pemancar untuk mengetahui bagaimana pengaruh jumlah antena pemancar terhadap kinerja sistem. Simulasi ini dilakukan dengan 3 modulasi yang berbeda yaitu 4-QAM, 16-QAM dan 64. Rasio pilot yang adalah 1/11. Kanal yang digunakan adalah kanal *Rayleighfading*. Hasil simulasi dari ketiga modulasi tersebut seperti ditunjukkan gambar 3 sampai gambar 5.



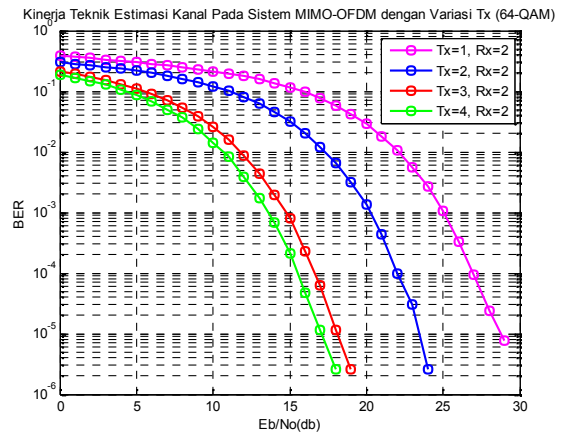
Gambar 3. Kinerja sistem dengan perbandingan jumlah antena pemancar menggunakan modulasi 4-QAM

Pada modulasi 4-QAM, Kinerja sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal saat kondisi $BER=10^{-5}$ dicapai oleh 4 antena pemancar ketika $SNR=2,43$ dB, oleh 3 antena pemancar ketika $SNR=4$ dB, oleh 2 antena pemancar ketika $SNR=9,22$ dB dan oleh 1 antena pemancar ketika $SNR=13,77$ dB.



Gambar 4. Kinerja sistem dengan perbandingan jumlah antena pemancar menggunakan modulasi 16-QAM

Pada modulasi 16-QAM, Kinerja sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal saat kondisi $BER=10^{-5}$ dicapai oleh 4 antena pemancar ketika $SNR=9,95$ dB, oleh 3 antena pemancar ketika $SNR=11,57$ dB, oleh 2 antena pemancar ketika $SNR=16,71$ dB dan oleh 1 antena pemancar ketika $SNR=21,55$ dB.



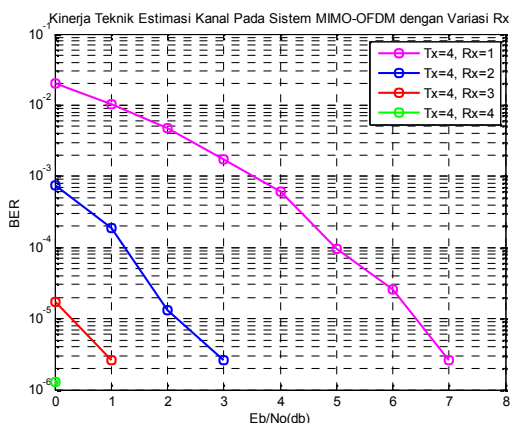
Gambar 5. Kinerja sistem dengan perbandingan jumlah antena pemancar menggunakan modulasi 64-QAM

Pada modulasi 64-QAM, kinerja sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal saat kondisi $BER=10^{-5}$ dicapai oleh 4 antena pemancar ketika $SNR=17,1$ dB, oleh 3 antena pemancar ketika $SNR=18,1$ dB, oleh 2 antena pemancar ketika $SNR=23,44$ dB dan oleh 1 antena pemancar ketika $SNR=28,69$ dB.

3.2 Hasil Simulasi dan Analisa Untuk Perbandingan Jumlah Antena Penerima

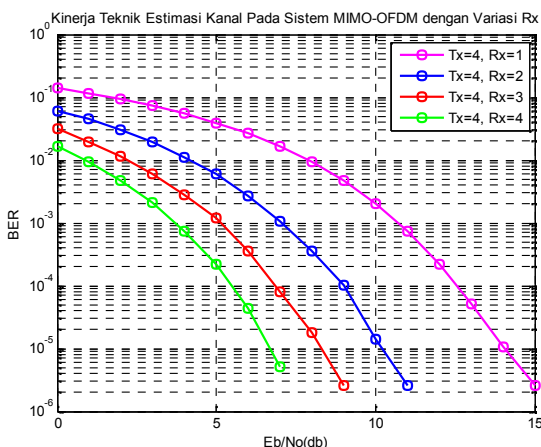
Pada simulasi ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja sistem yang menggunakan 4 antena pemancar dengan 1 sampai 4 antena penerima untuk mengetahui bagaimana pengaruh jumlah antena penerima terhadap kinerja sistem. Simulasi ini dilakukan dengan 3 modulasi yang berbeda yaitu 4-QAM, 16-QAM dan 64. Rasio pilot yang digunakan adalah 1/11. Kanal yang digunakan adalah kanal Rayleigh

fading. Hasil simulasi dari ketiga modulasi tersebut seperti ditunjukkan gambar 6 sampai gambar 8.



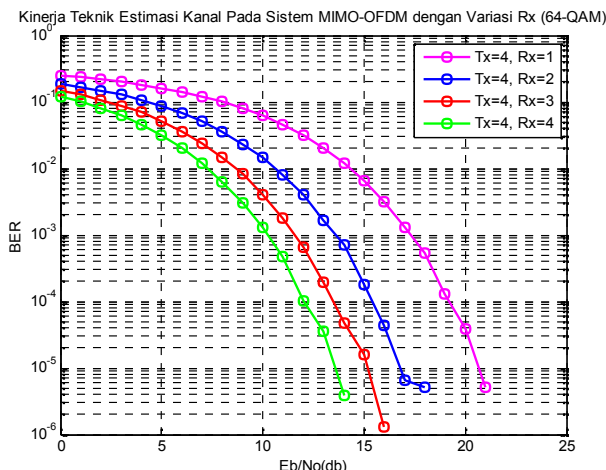
Gambar 6. Kinerja sistem dengan perbandingan jumlah antenna penerima menggunakan modulasi 4-QAM

Pada modulasi 4-QAM, kinerja sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal saat kondisi BER=10⁻⁵ dicapai oleh 4 antenna penerima ketika SNR=0 dB, oleh 3 antenna penerima ketika SNR=0,28 dB, oleh 2 antenna penerima ketika SNR=2,16 dB dan oleh 1 antenna penerima ketika SNR=6,41 dB.



Gambar 7. Kinerja sistem dengan perbandingan jumlah antenna penerima menggunakan modulasi 16-QAM

Pada modulasi 16-QAM, kinerja sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal saat kondisi BER=10⁻⁵ dicapai oleh 4 antenna penerima ketika SNR=6,7 dB, oleh 3 antenna penerima ketika SNR=8,31 dB, oleh 2 antenna penerima ketika SNR=10,21 dB dan oleh 1 antenna penerima ketika SNR=14,03 dB.



Gambar 8. Kinerja sistem dengan perbandingan jumlah antenna penerima menggunakan modulasi 64-QAM

Pada modulasi 64-QAM, kinerja sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal saat kondisi BER=10⁻⁵ dicapai oleh 4 antenna penerima ketika SNR=13,56 dB, oleh 3 antenna penerima ketika SNR=15,17 dB, oleh 2 antenna penerima ketika SNR=16,77 dB dan oleh 1 antenna penerima ketika SNR=20,67 dB.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi pada sistem MIMO-OFDM dengan teknik estimasi kanal modulasi M-QAM pada kanal Rayleigh *fading* dapat disimpulkan seperti berikut dengan pengamatan dilakukan pada saat kondisi BER=10⁻⁵:

- Kinerja sistem MIMO-OFDM telah didapat dengan baik untuk pemakaian kanal estimasi teknik LS.
- Kinerja sistem dengan 4 antenna pemancar lebih baik ±1 dB dari 3 antenna pemancar, lebih baik ±6 dB dari 2 antenna pemancar dan lebih baik ±11 dB dari 1 antenna pemancar.
- Kinerja sistem dengan 4 antenna penerima lebih baik ±1 dB dari 3 antenna penerima, lebih baik ±2 dB dari 2 antenna penerima dan lebih baik ±6 dB dari 1 antenna penerima.

DAFTAR PUSTAKA

- L. J. CIMINI, JR., "ANALYSIS AND SIMULATION OF A DIGITAL MOBILE CHANNEL USING ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING", IEEE TRANS. COMMUN., VOL. COM-33, PP. 665-675, JULY 1985.
- GORDON L. STUBER, JOHN R. BARRY, STEVE W. MCLAUGHLIN, YE (GEOFFREY) LI, MARY ANN INGRAM, AND THOMAS G. PRATT, "BROADBAND MIMO-OFDM WIRELESS COMMUNICATIONS", PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 92, NO. 2, PP. 271-294, FEB. 2004
- JIUN SIEW, ROBERT PIECHOCKI, ANDREW NIX, AND SIMON ARMOUR, "A CHANNEL ESTIMATION METHOD FOR MIMO-OFDM SYSTEMS", IN PROC. LONDON COMMUN. SYMP., PAGES 1.4, LONDON, ENGLAND, SEPT. 2002.
- ALEX DOWLER AND ANDREW NIX, "PERFORMANCE EVALUATION OF CHANNEL ESTIMATION TECHNIQUES IN A MULTIPLE ANTENNA OFDM SYSTEM". IN PROC. IEEE VEHIC. TECHN. CONF., VOLUME 1, PAGES 1.4, ORLANDO, FL, OCT. 2003
- C. FRAGOULI, N. AL-DHAHIR, AND W. TURIN, "TRAINING-BASED CHANNEL ESTIMATION FOR MULTIPLE-ANTENNA BROADBAND TRANSMISSIONS," IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 2, PP. 384-391, 2003.

- [6] I. BARHUMI, G. LEUS, AND M. MOONEN, "OPTIMAL TRAINING DESIGN FOR MIMO OFDM SYSTEMS IN MOBILE WIRELESS CHANNELS," *IEEE TRANS. SIGNAL PROCESSING*, VOL. 51, NO. 6, PP. 1615-1624, JUNE 2003.
- [7] H. Minn and N. Al-Dhahir, "Optimal training signals for MIMO OFDM channel estimation," *IEEE Globecom*, Nov. 29 - Dec. 3, 2004.
- [8] Yong Soo Cho, dkk, 2010, "MIMO-OFDM Wireless Communications with Matlab". Singapore.
- [9] Rustam Efendi. 2007, "LIMITED FEEDBACK PRECODING DAN MIMO SPATIAL MULTIPLEXING UNTUK APLIKASI 802.16e," STTELKOM : Bandung.
- [10] Muhammad Saad Sakram, 2007, "Pilot-based Channel Estimation in OFDM Systems".