

ANALISIS KINERJA SISTEM SVD-OFDM 2X2 PADA KANAL RAYLEIGH FADING

Victor Mukti Efendi*, Imam Santoso**, Ajub Ajulian Zahra**

Abstrak – Penggunaan *multiple antenna* pada transmitter dan receiver, dikenal dengan teknik *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)*, diyakini bisa meningkatkan performansi *physical layer* sistem komunikasi wireless dengan meningkatkan kapasitas dan memperoleh gain diversitas. Pada perkembangannya, banyak sekali teknik MIMO yang telah dikembangkan diantaranya *singular value decomposition (SVD)*. Disisi lain, *Orthogonal Frekuensi Division Multiplexing (OFDM)* merupakan metode yang sangat populer dalam komunikasi wireless dengan data-rate yang tinggi. Gabungan antara sistem SVD dan OFDM, dikenal dengan sistem SVD-OFDM, menjadi fokus penelitian untuk komunikasi wireless generasi mendatang karena selain memperoleh gain diversitas, sistem SVD-OFDM juga handal bekerja pada aplikasi broadband dengan datarate yang tinggi.

Pada tugas akhir ini, dilakukan penelitian dan analisa tentang pengaruh penggunaan *channel coding*, *power control* dan *pergeseran dopler* pada sistem SVD-OFDM. Simulasi dilakukan mengacu kepada standard IEEE 802.11.a dengan hanya mengakomodasi rate 12 Mbps tetap untuk semua percobaan, dimana sistem akan diuji pada kanal *multipath rayleigh fading* ditambah dengan *noise gaussian*.

Hasil simulasi untuk target BER 10^{-4} dB menunjukkan bahwa sistem SVD-OFDM mengalami perbaikan kinerja sebesar 4.5 dB dibandingkan STBC-OFDM dan 6dB dibandingkan SISO-OFDM saat bekerja pada pengguna statis (frekuensi doppler 0 Hz). Untuk penambahan coding pada sistem SVD-OFDM akan memperbaiki kinerja sebesar 6 dB dibandingkan dengan sistem SVD-OFDM tanpa coding.

Kata-kunci: OFDM, SVD-OFDM, STBC-OFDM, MIMO.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi yang sangat pesat, maka sistem komunikasi *wireless digital* dituntut untuk menyediakan layanan data yang berkecepatan tinggi (*high datarate*) dengan QOS yang *reliable*. Dengan tersedianya layanan data berkecepatan tinggi tersebut, maka layanan komunikasi yang bersifat multimedia bisa dilakukan secara *realtime* dengan *service* yang beragam.

Salah satu teknik yang dapat diandalkan untuk menyediakan layanan data berkecepatan tinggi adalah teknik modulasi *multicarrier OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)*. OFDM telah lama dipakai sebagai metoda yang efisien untuk melawan efek dari *kanal multipath* pada sistem yang mempunyai *datarate* yang tinggi, dan banyak dipakai sebagai solusi untuk dijadikan *interface* utama pada sistem wireless.

Pada prinsipnya OFDM membagi data serial berkecepatan tinggi menjadi beberapa data paralel berkecepatan rendah, yang kemudian masing-masing data paralel itu dimodulasi oleh *subcarrier* yang saling *orthogonal*. Ortogonalitas subcarrier OFDM ini menyebabkan spektrum antar *subcarrier* diperbolehkan *overlapping* sehingga penggunaan bandwidth akan lebih efisien. OFDM akan merubah kondisi kanal dari *frekuensi selective fading* menjadi kanal paralel yang seolah-olah dirasakan *flat fading*. Sistem OFDM dapat direalisasikan dengan

menggunakan IFFT pada modulator dan FFT pada demodulator.

Pada perkembangan akhir-akhir ini, banyak sekali teknik MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yang telah diaplikasikan untuk sistem komunikasi *array-to-array* salah satunya adalah *singular value decomposition (SVD)*. Skema MIMO-SVD ini menggunakan sebuah *transmit prefilter* dan sebuah *receive postfilter* untuk mendiagonalisasi matrix *array-to-array channel* menjadi sekumpulan *independent scalar channel*, dimana beberapa dari scalar channel tersebut mempunyai *channel gain* yang lebih besar dibandingkan dengan *fading channel* akibat adanya gain diversitas. Pada tugas akhir ini, penulis melakukan penelitian pengaruh penggunaan *channel coding*, *power control* dan *pergeseran dopler* terhadap kinerja SVD-OFDM 2X2 pada kanal *rayleigh fading*.

1.2 Tujuan

Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah untuk:

1. Melakukan analisa pengaruh digunakannya MIMO terhadap kinerja sistem OFDM.
2. Melakukan analisa pengaruh dari kanal *frequency selective fading* dan *flat fading* terhadap performansi sistem SVD-OFDM
3. Melakukan analisa pengaruh *channel coding* terhadap kinerja sistem SVD-OFDM.
4. Melakukan analisa pengaruh *power control* terhadap kinerja sistem SVD-OFDM.
5. Melakukan analisa pengaruh *frekuensi Dopler* terhadap kinerja sistem SVD-OFDM.

1.3 Pembatasan masalah

Dalam tugas akhir ini, pembahasan terbatas pada:

* Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

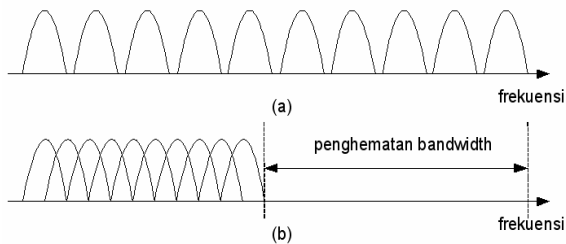
** Dosen Teknik Elektro UNDIP

1. Parameter-parameter sistem diambil dari standar IEEE 802.11a
2. Transmisi sinyal dilakukan pada transmisi *baseband*, dan sinkronisasi yang sempurna pada Tx dan Rx
3. Waktu dan Frekuensi akuisisi diasumsikan ideal
4. Perancangan sistem tidak termasuk perancangan antenna dan *link budget*.
5. Sistem yang diamati adalah untuk *single user* (Tidak memperhitungkan *Multiple Access Interference*).
6. Kanal yang digunakan adalah kanal MIMO yang terdistribusi *rayleigh* dan berderau *Gaussian*
7. Kanal *feedback* yang digunakan diasumsikan bebas dari error
8. Sistem STBC-OFDM dan SISO-OFDM tidak di bahas secara detail hanya digunakan sebagai pembanding.

II DASAR TEORI

2.1 OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier*-nya 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, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.1 [8,12].



Gambar 1. : Spektrum Multi Carrier (a) Tidak Overlap (b) Overlap Ortogonal

Konsep dari OFDM adalah membagi *data rate* sinyal informasi *wideband* menjadi deretan data paralel dengan *data rate* yang lebih rendah sehingga akan didapatkan deretan paralel sinyal dengan *data rate* rendah (*narrowband*), kemudian data-data paralel tersebut dimodulasi dengan *subcarrier* yang saling ortogonal. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari penggunaan OFDM, karena kanal yang semula bersifat *frequency selective fading* akan dirasakan seperti kanal *flat fading* oleh masing-masing *subcarrier*, sehingga *distorsi* sinyal akibat perlakuan kanal *multipath fading* menjadi berkurang.

2.2 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) merupakan penggunaan banyak antenna di *transmitter* dan *receiver* ($N \text{ Antenna}_{TX} > 1$ dan $M \text{ Antenna}_{RX} > 1$). Dalam [2] dijelaskan bahwa secara umum ada tiga kategori teknik MIMO yang ada, yaitu :

1. Teknik untuk meningkatkan efisiensi daya dengan cara memaksimalkan *spatial diversity*. Contoh : STBC (*Space-Time Block Code*) dan STTC (*Space-Time Trellis Code*).
2. Teknik untuk meningkatkan data-rate (efisiensi *bandwidth*) melalui *spatial-multiplexing*, akan tetapi pada teknik ini *full spatial diversity* tidak tercapai. Contoh : V-BLAST
3. Teknik untuk mengeksploitasi pengetahuan kanal pada *transmitter*. Pada teknik ini digunakan *Singular Value Decomposition* (SVD) untuk melakukan dekomposisi pada matriks kanal.

2.2.1 Kanal MIMO

Persamaan matriks kanal pada sistem MIMO (N -antenna *transmit* dan M -antenna *receive*) secara umum adalah sebagai berikut [1,8,12]:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & h_{M2} & \dots & h_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana $h_{m,n}$ menyatakan respon kanal dari antenna *transmit* ke- N persamaan kapasitas sistem pada kanal *fading* diberikan oleh persamaan :

2.2.2 MIMO berbasis SVD

SVD bisa diimplementasikan untuk sistem MIMO. Sistem MIMO berbasis SVD ini menggunakan informasi kanal dalam menghitung nilai SVD dari matriks kanalnya. Sistem MIMO-SVD dapat menghasilkan performansi yang mendekati batas *teoretical capacity limit*, karena pada sistem ini *transmitter* dan *receiver* sama-sama mengetahui kondisi kanal, sehingga pengetahuan tentang kanal tersebut bisa digunakan untuk mendekati *shanon capacity limit* dengan digunakannya teknik *waterfilling* [1,2,7,12].

Pada sistem MIMO-SVD, *transmitter* akan memfilter inputan x melalui filter V sebelum mengirimkannya melewati kanal. Pada *receiver*, output y didapatkan setelah pemfilteran dengan menggunakan U' (gambar 2). Keseluruhan persamaan proses transmisi adalah :

$$\tilde{y} = U'y = U'(H)Vx + U'n \quad (2)$$

n adalah noise AWGN kompleks (*zeros mean Gaussian random variables*) dengan varians $\sigma^2 = (2R.SNR_b)^{-1}$. Karena matriks H bisa didekomposisi menjadi

$$H=UDV' \quad (3)$$

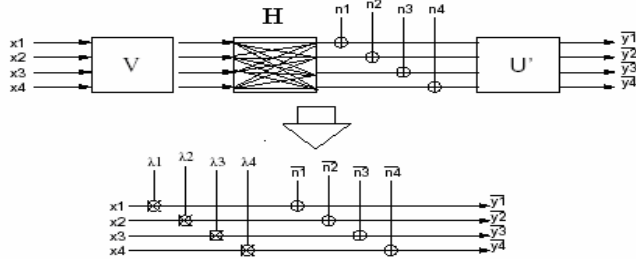
maka :

$$\tilde{y} = U'(UDV')Vx + \tilde{n} = Dx + \tilde{n} \quad (4)$$

karena D adalah sebuah matrix diagonal, maka kita dapat menuliskan persamaan diatas menjadi :

$$\tilde{y}_i = D_{ii} x_i + \tilde{n}_i \quad (5)$$

Persamaan-persamaan diatas bisa digambarkan seperti pada gambar 2 [2].



Gambar2. Skema MIMO berbasis SVD

Pada gambar 2. terlihat bahwa dengan menggunakan SVD, sistem yang awalnya MIMO sekarang seolah-olah dirubah menjadi sebuah sistem yang equivalen (beberapa sistem SISO yang parallel) yang mempunyai beberapa sub-kanal dengan gain masing-masing sub-kanal adalah λ_i . Jumlah sub-kanal yang dihasilkan adalah jumlah minimum dari jumlah antenna *transmitter* atau antenna *receiver* (minimum M_r, M_t) dengan tidak melebihi nilai *rank* dari matrix kanal H . Singular value λ_i (gain kanal) nilainya semakin menurun ($\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_m$) dan tidak sama satu dengan yang lainnya. Jadi, sistem SVD akan menghasilkan beberapa sub-kanal paralel dengan *gain* yang berbeda antar sub-kanalnya

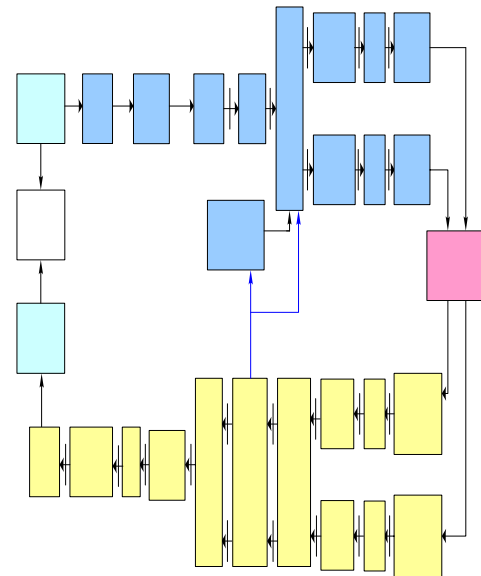
2.3 Kanal Rayleigh Fading [8,12]

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi Rayleigh biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal *fading* yang diterima, atau selubung dari satu komponen multipath. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau gaussian membentuk distribusi Rayleigh. Distribusi Rayleigh mempunyai fungsi kerapatan probabilitas :

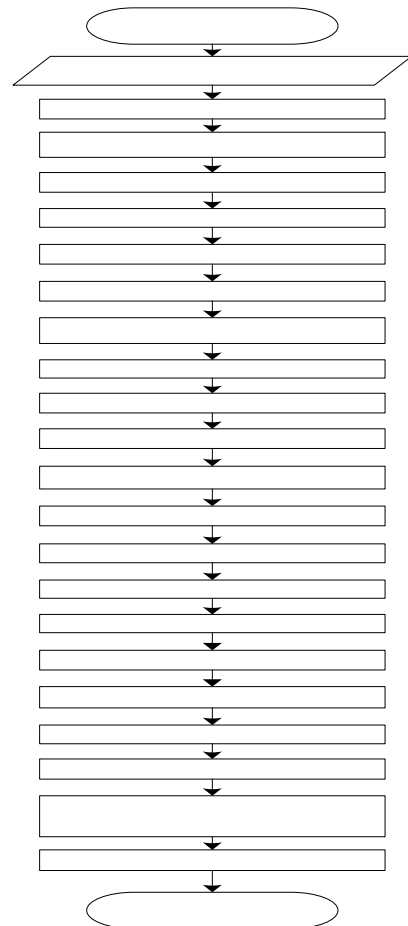
$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (6)$$

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

III PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK



Gambar 3. Pemodelan Sistem SVD-MIMO-OFDM MxN



Gambar 4 Diagram Alir Simulasi: SVD-OFDM

IV HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

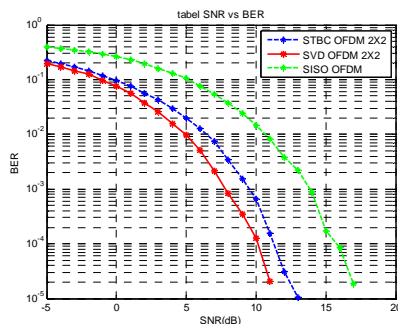
Analisis sistem dilakukan dengan melihat grafik SNR dan BER yang didapat dari hasil simulasi. Adapun parameter-parameter sistem SVD-OFDM yang disimulasikan terdapat dalam tabel 1: [8,12]

Table 1 Parameter simulasi

Parameter	Besar / Jenis
Frekuensi kerja	5 GHz
Jumlah Simbol OFDM / Frame	20 Simbol OFDM
Jumlah sampel <i>cyclic prefix</i>	16
<i>Delay spread</i> maksimum	60 ns (indoor)
<i>Path Gain</i>	[0 -10] dB
<i>Path Delay</i>	[0 200] ns.
Panjang <i>guard interval</i>	0.8 μ s
Periode simbol OFDM	4 μ s
Periode simbol OFDM efektif	3.2 μ s
<i>Carrier spacing</i>	0.3125 MHz
Nominal <i>Bandwidth</i>	20 MHz
<i>Signal Mapper</i>	QPSK
<i>Code Rate</i>	1/2 (<i>convolutional</i>)
<i>Data rate</i>	12 Mbps
Jumlah <i>subcarrier</i> data	48 <i>subcarrier</i>
<i>Zero Padding</i>	12
Jumlah <i>subcarrier</i> pilot	4
<i>Point IFFT</i>	64
Kecepatan <i>user</i>	0, 2.7, 43.2 Km/jam
Frekuensi <i>doppler</i>	0, 12.5, 200Hz
BER target	10^{-4}
Jenis MIMO	SVD (2x2)

4.1 Pengaruh Penggunaan MIMO Terhadap Kinerja Sistem OFDM

Gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan kinerja sistem OFDM tanpa dan dengan diintegrasikan dengan sistem MIMO. Pada grafik tersebut dibandingkan 2 skema MIMO, yaitu STBC-OFDM dan SVD-OFDM, dengan sistem OFDM *single antenna* (SISO-OFDM). Simulasi dilakukan pada kondisi kanal *selective fading* terdistribusi *Rayleigh independent* untuk setiap kanal MIMO dengan frekuensi doppler maksimum 0 Hz (*static-fading*), dan tanpa *channel-coding*



Gambar 5 Grafik pengaruh penggunaan MIMO terhadap kinerja sistem OFDM

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan MIMO maka kinerja sistem OFDM akan naik sebesar 4.5 dB untuk STBC 2x2 dan 6 dB untuk SVD 2x2. Peningkatan performansi ini diperoleh dari *diversity-gain* akibat penggunaan *multiple antenna* baik itu di *transmitter* maupun di *receiver*. Secara teoritis diversitas antenna bisa

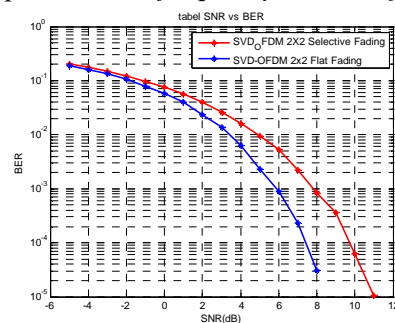
meningkatkan performansi sistem. Hal ini terjadi karena dengan semakin banyaknya antenna (khususnya antenna *receiver*), maka kemungkinan sinyal yang mengalami fading terburuk (*deep-fade*) dari masing-masing sinyal *receive* semakin kecil atau minimal ada salah satu sinyal *receive* yang masih baik, sehingga saat digabungkan oleh teknik MIMO *detection* akan memberikan hasil yang lebih baik.

4.2 Pengaruh kanal *frequency-selective fading* dan kanal *flat fading* terhadap kinerja sistem SVD-OFDM

Gambar 6 menunjukkan grafik kinerja sistem SVD-OFDM 2x2 yang bekerja pada kanal *frequency-selective* dan *flat fading*. Simulasi dilakukan pada kondisi kanal terdistribusi *Rayleigh independent* untuk setiap kanal MIMO dengan frekuensi Doppler maksimum 0 Hz, tanpa *channel-coding* dan *fix allocation-svd*.

Pada gambar 6 terlihat bahwa secara umum terjadi penurunan performansi sistem SVD-OFDM 2x2 sebesar 2 dB saat bekerja pada kondisi kanal *frequency-selective fading* bila dibandingkan saat bekerja pada kanal *flat fading*. Untuk target BER sebesar 10^{-4} .

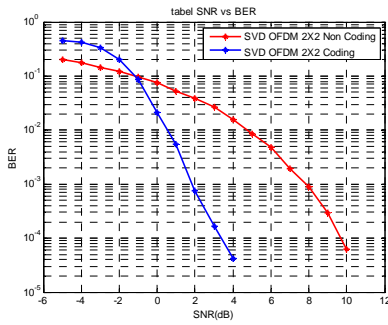
Meskipun secara teoritis penggunaan modulasi OFDM akan membuat kanal *frequency selective fading* akan dirasakan *flat fading* oleh masing-masing *subcarriers* OFDM, akan tetapi tetap saja masing-masing *subcarrier* OFDM akan menerima respon kanal yang berbeda-beda dimana masing-masing *subcarriers* seolah-olah mengalami *flat fading* namun tetap saja koefisien fading tiap *subcarrier* berbeda, dan perbedaan inilah yang menyebabkan performansi sistem SVD-OFDM menurun pada kondisi *frequency selective fading*.



Gambar 6 pengaruh kanal *frequency-selective* dan *flat fading* terhadap kinerja sistem SVD-OFDM

4.3 Pengaruh Penggunaan *Channel Coding* Terhadap Kinerja Sistem SVD-OFDM

Gambar 7 menunjukkan grafik kinerja sistem SVD-OFDM tanpa dan memakai pengkodean *convolutional* dengan *coding-rate* $\frac{1}{2}$ dan disertai dengan *interleaver* 16x120. Simulasi dilakukan pada kondisi kanal *selective fading* terdistribusi *Rayleigh independent* untuk setiap kanal MIMO dengan frekuensi Doppler maksimum 0 Hz (*static-fading*).



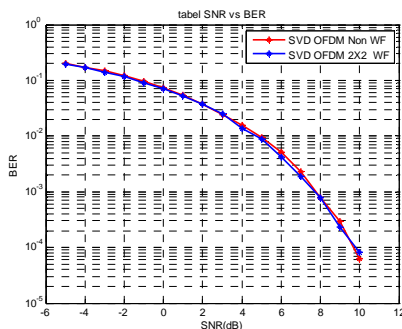
Gambar 7 Grafik pengaruh *channel coding* terhadap kinerja sistem MIMO-OFDM

Pada gambar diatas terlihat bahwa dengan menggunakan pengkodean maka terjadi peningkatan kinerja sistem SVD-OFDM 2x2 sebesar 6 dB. Untuk target BER sebesar 10⁻⁴.

Perbaikan kinerja akibat penggunaan pengkodean (*coding gain*) ini disebabkan kemampuan blok *channel coding* tersebut untuk mendeteksi dan memperbaiki eror yang terjadi akibat distorsi kanal transmisi.

4.4 Pengaruh Power Kontrol Terhadap Kinerja Sistem SVD-OFDM

Gambar 8 menunjukkan grafik kinerja sistem SVD-OFDM 2x2 tanpa dan dengan menggunakan teknik *power-control (waterfilling)*. Simulasi dilakukan pada kondisi kanal *selective fading* terdistribusi *Rayleigh independent* untuk setiap kanal MIMO dengan frekuensi Doppler maksimum 0 Hz (*static-fading*) dan tanpa *channel-coding*.



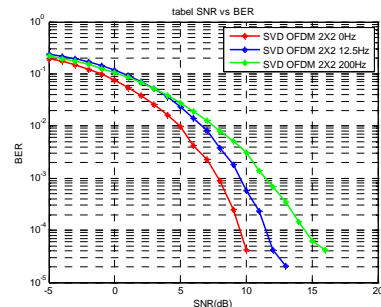
Gambar 8 Grafik pengaruh *waterfilling* terhadap kinerja sistem SVD-OFDM

Secara teoritis, *waterfilling* dapat meningkatkan performansi sistem MIMO karena kanal singular yang mempunyai gain yang lebih besar akan dialokasikan power yang lebih besar pula. Sistem SVD-OFDM 2x2, penggunaan *waterfilling* tidak memperbaiki kinerja sistem secara signifikan. Hal ini dikarenakan pada sistem SVD 2x2 perbedaan gain kanal singularnya tidak terlalu besar.

4.5 Pengaruh Efek Doppler Terhadap Kinerja Sistem SVD-OFDM

Gambar 9 menunjukkan grafik kinerja sistem SVD-OFDM 2x2 pada frekuensi dopler yang berbeda-beda. Simulasi dilakukan pada kondisi kanal *selective*

fading terdistribusi *Rayleigh independent* untuk setiap kanal MIMO dengan frekuensi Doppler maksimum 0 Hz (*static-fading*) – 12.5 Hz (*slow-fading*) – 200 Hz (*fast-fading*) tanpa *channel-coding* dan *fix allocation-svd*.



Gambar 9 Grafik Pengaruh Frekuensi Doppler Terhadap Kinerja SVD-OFDM

Pada gambar diatas terlihat bahwa semakin tinggi frekuensi doppler, atau semakin cepat pergerakan *user*, maka kinerja sistem SVD-OFDM akan semakin menurun. Adapun untuk target BER sebesar 10⁻⁴.

Secara teoritis, semakin tinggi frekuensi doppler / semakin tinggi kecepatan user, maka kanal akan semakin mendekati kondisi *fast fading*. Sistem SVD akan bekerja secara maksimal saat user berada dalam keadaan *static-fading* ($f_d=0$) atau *slow-fading*, karena pada kondisi ini kondisi kanal tidak terlalu sering berubah-ubah secara cepat sehingga filter yang digunakan tidak mengalami error yang besar akibat kanal transmisi berubah secara drastis. Saat kondisi kanal mengalami *fast fading* maka kinerja sistem svd akan menurun, ini disebabkan kanal SVD tidak secara sempurna ter-dekomposisi menjadi beberapa kanal paralel yang mempunyai gain bilangan *real*. Jika filter yang digunakan tidak *match* dengan kondisi kanal yang sangat cepat berubah, maka otomatis kanal SVD tidak akan terdekomposisi sempurna oleh filter tersebut, hal ini akan mengakibatkan terjadinya pergeseran fasa sinyal informasi akibat kanal singular yang dilaluinya berbentuk bilangan imajiner.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian Tugas Akhir yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- 1) Dengan digabungkannya sistem MIMO dan OFDM, maka kinerja sistem dapat ditingkatkan secara drastis bila dibandingkan dengan kinerja sistem OFDM konvensional (SISO-OFDM). Adapun besarnya perbaikan kinerja akan sangat tergantung dari jenis MIMO. Untuk sistem SVD-OFDM 2x2 memperbaiki kinerja sebesar 6 dB.

- 2) Semakin tinggi frekuensi *doppler* atau semakin cepat pergerakan *user*, maka kinerja sistem SVD-OFDM 2x2 akan menurun sebesar 2 dB untuk frekuensi *dopler* 12.5 Hz dan 5 dB untuk frekuensi *dopler* 200 Hz.
- 3) Dengan menggunakan pengkodean maka terjadi peningkatan kinerja sistem SVD-OFDM 2x2. Adapun rata-rata *coding gain* yang diperoleh adalah sebesar 6.5 dB.
- 4) Performansi sistem MIMO-OFDM akan menurun rata-rata sebesar 2 dB saat bekerja pada kondisi kanal *frequency-selective fading* bila dibandingkan saat bekerja pada kanal *flat fading* untuk target BER sebesar 10^{-4} .

5.2 Saran

Berikut ini hal-hal yang disarankan penulis untuk dilakukan penelitian pada masa mendatang :

- 1) Peningkatan performansi sistem SVD bisa dilakukan dengan menambahkan sebuah *linear-filter* yang dapat membantu *tracking* perubahan dari koefisien filter SVD sehingga error akibat fluktuasi kanal secara cepat dapat diperkecil.
- 2) Teknik kanal feedback pada sistem SVD-OFDM berbasis FDD yang lebih efisien, bisa melalui teknik kompresi data, pengolahan sinyal lanjut, dsb., tanpa mengurangi kualitas informasi kanal feedback tersebut.
- 3) Pemakaian Jumlah Antena Transmit dan Recive dapat di pelajari lebih lanjut untuk meningkatkan performansi SVD

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrea Goldsmith, “*Wireless communication*”, Cambridge University Press, 2005
- [2] Alamgir Mohammed, “*Different Multiple Input Multiple Output System*”, Victoria University Of Thecnology, 2003
- [3] E. Telatar, “*Capacity of multiantenna Gaussian channels*”, AT&T Bell Laboratories, Tech. Memo., June 1995.
- [4] Gordon L. Stuber, John R. Barry, Steve W. Mclaughlin, Ye Li, Mary Ann Ingram, Thomas G. Pratt , “*Broadband MIMO-OFDM Wireless Communication*”, PROCEEDINGS OF IEEE, Vol 92, No 2, February 2004.
- [5] Jaehak Chung, Yungsoo Kim, Eungsun Kim , “*Multiple antenna systems for 802.16 systems* ”, IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, September 2001.
- [6] Jiun Siew, Robert Piechocky, Andrew Nix, Simon Armour , “*A Channel Estimation Method for MIMO-OFDM Systems*”, Centre for Communication Research, University of Bristol.

- [7] Joon Hyun Sung and John R. Barry, “Space-Time Processing with Channel Knowledge at the Transmitter”, European Conference on Communications (EUROCON01), Bratislava, July , 2001.
- [8] Luis Intini Anibal., “*Orthogonal Frequency Division Multiplexing For Wireless Network*”, University Of California, 2000
- [9] P. Berra D, Dubitzky W., Granzo M., “*Singular value Decomposition and Principal Analysis*”, Kluwer : Norwell, MA, 2003
- [10] Vijay K. Garg, “*Wireless Network Evolution 2G to 3G*”. New Jersey : Prentice Hall, 2001
- [11] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, “*Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs*,” IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, no. 5, July 1999.
- [12] www.wikipedia.org



Victor Mukti Efendi (L2F304289) dilahirkan di Banyumas 16 Juni 1983. Menempuh pendidikan di SDN III Sumpiuh Banyumas, SMP N I Sumpiuh Banyumas lulus tahun 1997. SMUN I Sumpiuh Banyumas lulus 2000, Pada tahun 2003 menyelesaikan studi di POLINES. Tahun 2004 sampai saat ini masih menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang Konsentrasi Elektronika Telekomunikasi dan semoga dapat lulus tahun 2006.

Menyetujui dan Mengesahkan,

Pembimbing I,

Imam Santoso, S.T., M.T.

NIP. 132 162 546

Tanggal

Pembimbing II,

Ajub Ajulian Zahra, S.T., M.T.

NIP. 132 205 684

Tanggal