

**PEMODELAN KANAL MIMO OFDM
SISTEM KOMUNIKASI UWB MENGGUNAKAN
SINGULAR VALUE DECOMPOSITION**

TESIS

Oleh

ABDULLAH MANDAN
64 05 03 0015



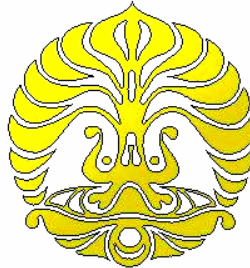
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

**PEMODELAN KANAL MIMO OFDM
SISTEM KOMUNIKASI UWB MENGGUNAKAN
SINGULAR VALUE DECOMPOSITION**

TESIS

Oleh

ABDULLAH MANDAN
64 05 03 0015



**TESIS INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI MAGISTER TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCA SARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul :

PEMODELAN KANAL MIMO OFDM SISTEM KOMUNIKASI UWB MENGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Kekhususan Teknik Telekomunikasi Program Studi Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari seminar atau tesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 12 Desember 2007

Abdullah Mandan
NPM 64 05 03 0015

PENGESAHAN

Tesis dengan judul :

PEMODELAN KANAL MIMO OFDM SISTEM KOMUNIKASI UWB MENGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Kekhususan Teknik Telekomunikasi Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tesis ini diujikan pada sidang ujian tesis pada tanggal 4 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai tesis pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Jakarta, 4 Januari 2008

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng.
NIP. 132 094 574

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng.

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan dan bimbingan di setiap tahapan penelitian. Utamanya diskusi-diskusi yang penuh motivasi dengan beliau, serta persetujuannya sehingga tesis ini dapat selesai dengan baik.

Penulis juga mengucapkan terima kasih atas dukungan :

Dr. Ir. Ridwan Gunawan, M.T.

yang telah banyak memberi inspirasi selama penyelesaian penulisan tesis ini. Perkuliahan dan diskusi-diskusi yang sangat stimulatif dengan beliau banyak bermanfaat dalam menjembatani pemahaman antara matematika teori dan aplikasi teknik sistem MIMO nirkabel.

Abdullah Mandan
NPM 64 05 03 0015
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng.

**PEMODELAN KANAL MIMO OFDM SISTEM KOMUNIKASI UWB
MENGUNAKAN SINGULAR VALUE DECOMPOSITION**

ABSTRAK

Kehadiran sistem UWB telah menawarkan potensi besar untuk desain komunikasi nirkabel jarak pendek berkecepatan tinggi dengan kapasitas transfer data yang sangat besar. Hal ini dapat dicapai dengan cara melakukan eksploitasi spasial dan perbedaan *multipath* melalui penggunaan sistem MIMO-OFDM dan teknik simbol yang tepat. Sistem tersebut mengkombinasikan antena MIMO dan teknik OFDM yang handal dalam mentransmisikan data berkecepatan tinggi, meski pada lingkungan *multipath* sekalipun. Juga dapat mengatasi distorsi *delay spread* dan *unflat fading* akibat kanal *multipath*, sehingga dapat dicapai efisiensi spektrum dan peningkatan *throughput*. Pada tesis ini dilakukan penelitian tentang MIMO OFDM berbasis SVD.

Pemodelan kanalnya dilakukan dengan cara menerapkan konsep dekomposisi kanal frekuensi selektif *fading* ke bentuk kanal paralel *flat fading* dalam domain frekuensi. Model kanal domain frekuensi digunakan untuk menyajikan performansi kecepatan data yang berbeda. Kemudian mengembangkan konsep *decouple* kanal frekuensi selektif ke dalam domain spasial dengan cara mendekomposisi kanal MIMO *flat fading* ke dalam kanal domain spasial *orthogonal* menggunakan pendekatan berbasis SVD. Selanjutnya mengkombinasikan *decouple* spasial berbasis SVD dengan *decouple* domain frekuensi berbasis FFT untuk mendapatkan model kanal paralel UWB MIMO OFDM. Akhirnya diharapkan bahwa analisa teoritis ini dapat diaplikasikan dalam sistem komunikasi nirkabel jarak pendek berkecepatan tinggi dengan menerapkan suatu cara untuk memilih kecepatan data yang berbasis pada kondisi kanal.

Kata kunci : UWB, MIMO, OFDM, SVD

Abdullah Mandan
NPM 64 05 03 0015
Electrical Engineering Departement

Counselor
Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng.

MIMO OFDM CHANNEL MODELING FOR UWB COMMUNICATION SYSTEMS USING SINGULAR VALUE DECOMPOSITION

ABSTRACT

The emerging UWB system offers a great potential for the design of high speed short range wireless communications which fully support high data streaming capacity. This can be achieved by exploiting both spatial and multipath diversity via the use of MIMO OFDM system and proper coding techniques. The systems combine MIMO antenna and OFDM technique which reliable in high data rate transmission even in multipath environment. It also overcomes delay spread distortion and unflat fading caused by multipath channels, thus high spectral efficiency and high throughput improvement can be achieved. This thesis studies MIMO OFDM techniques base on singular value decomposition.

The channel modeling is done by applying the concept of decomposition of frequency selective fading channel into parallel flat fading channel in the frequency domain. This frequency domain channel model is used to present the performance for different data rates. Then develops the concept of decoupling of frequency selective channel into spatial domain by presenting SVD based approach to decouple flat fading MIMO channels to orthogonal spatial channels. At least, the SVD based spatial domain decoupling is combined with FFT based frequency domain decoupling to obtain UWB MIMO OFDM parallel channel model. It is finally expected this theoretical analysis can be implemented in high speed short range wireless communication systems by applying a rate selection technique base on channel condition.

Keywords : UWB, MIMO, OFDM, SVD

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SINGKATAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN DAN KONTRIBUSI	3
1.3 RUANG LINGKUP PEMBAHASAN	3
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II MIMO OFDM SISTEM KOMUNIKASI UWB	5
2.1 UWB	5
2.1.1 Definisi UWB	6
2.1.2 Prinsip Transmisi UWB	7
2.2 MIMO	8
2.2.1 Parameter Kanal MIMO	9
2.2.2 Aplikasi MIMO	10
2.2.2.1 <i>Multipleks Spasial</i>	10
2.2.2.2 <i>Space Time Code</i>	13
2.3 OFDM	14
2.3.1 Konsep OFDM	14
2.3.2 Orthogonalitas OFDM	15
2.3.3 Prinsip Kerja OFDM	19
BAB III PEMODELAN KANAL MIMO OFDM	22

3.1 Matriks Kanal MIMO	22
3.2 Kanal Fading Flat Paralel	27
3.3 Model MIMO OFDM dengan Multipath	29
BAB IV DEKOMPOSISI PARALEL SISTEM MIMO OFDM	34
4.1 Dekomposisi Nilai Singular Sistem MIMO	35
4.2 Dekomposisi Nilai Eigen Sistem OFDM	44
4.3 Model Kanal Spasial Transmitter dan Receiver Sistem MIMO OFDM	48
4.4 Kapasitas Kanal Sistem MIMO OFDM	51
4.5 Representasi Transceiver dan Kapasitas Kanal MIMO OFDM Sistem Komunikasi UWB	53
4.5.1 Transmisi dan Resepsi MRC	52
4.5.2 Kapasitas MRC	59
BAB V ANALISA NUMERIK PERFORMANSI MIMO OFDM SISTEM KOMUNIKASI UWB	65
5.1 Solusi Matematis Matriks Respon Kanal	65
5.2 Komputasi SNR, BER, dan Kapasitas Throughput	74
5.3 Rank dan Subspasial Kanalisasi	75
BAB VI KESIMPULAN	78
DAFTAR ACUAN	xv
LAMPIRAN	xvii

DAFTAR GAMBAR

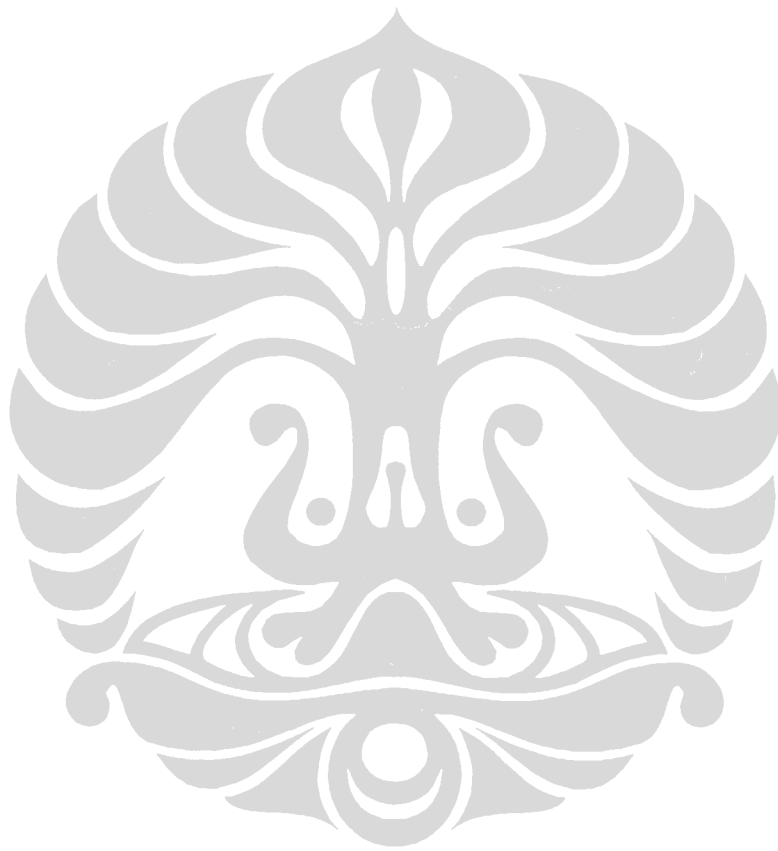
	Halaman
Gambar 2.1. Batasan umum emisi UWB FCC	6
Gambar 2.2. <i>Bandwidth fractional</i> UWB	7
Gambar 2.3. Pemodelan kanal MIMO	9
Gambar 2.4. Ekuivalensi kanal spasial <i>multiplexing</i>	11
Gambar 2.5. Ekuivalensi kanal matriks MIMO	13
Gambar 2.6. Penggunaan spektrum FDM dan OFDM	15
Gambar 2.7. Spektrum <i>subcarrier</i> dalam satu spektrum sinyal OFDM	19
Gambar 2.8. Skema <i>transmitter</i> sistem OFDM	20
Gambar 2.9. Skema <i>receiver</i> sistem OFDM	21
Gambar 3.1. Konfigurasi kanal MIMO	22
Gambar 3.2. Prefilter <i>V transmitter</i> MIMO berbasis SVD	24
Gambar 3.3. Postfilter <i>U receiver</i> MIMO berbasis SVD	24
Gambar 3.4. Ekuivalensi kanal Gaussian paralel independen	25
Gambar 3.5. Model ekuivalen kanal spasial <i>fading flat</i> paralel	27
Gambar 3.6. Model ekuivalen <i>transmitter multipath</i> MIMO OFDM berbasis SVD	31
Gambar 3.7. Model ekuivalen <i>receiver multipath</i> MIMO OFDM berbasis SVD	32
Gambar 4.1. Skema ekuivalen transmisi mode eigen MIMO 4,3	44
Gambar 4.2. Ekuivalensi kanal paralel independen sistem OFDM	48
Gambar 4.3. Diagram blok <i>transmitter</i> MIMO OFDM berbasis SVD	49
Gambar 4.4. Diagram blok <i>receiver</i> MIMO OFDM berbasis SVD	49
Gambar 4.5. Transmisi <i>path</i> eigen primer dan minor	58
Gambar 4.6. Kapasitas kanal pada SNR tinggi tanpa CSI di <i>transmitter</i>	61
Gambar 4.7. Kapasitas kanal MRC pada SNR rendah versus <i>path</i> eigen	62
Gambar 4.8. Kapasitas kanal pada SNR rendah tanpa CSI di <i>transmitter</i>	63
Gambar 5.1. Skema transmisi MIMO OFDM sistem komunikasi UWB dengan konfigurasi antena $R_x T_x$ 4x3	66

Gambar 5.2. Performansi BER versus SNR per kanal spasial

75

Gambar 5.3. Kapasitas *throughput* versus SNR

75



DAFTAR SINGKATAN

ADCs	analogue-to-digital converters
AWGN	additive white Gaussian noise
BER	bit error rate
BIBO	bounded input bounded output
CNR	carrier to noise ratio
CP	cyclic prefix
CSI	channel state information
DACs	digital-to-analogue converters
dB	decibel
DFT	discrete Fourier transform
DMT	discrete multitone modulation
DSSS	direct sequence spread spectrum
FDM	frequency division multiplexing
FFT	(forward) fast Fourier transform
ICI	intercarrier interference
IF	intermediate frequency
IFFT	inverse fast Fourier transform
ISI	intersymbol interference
i.i.d	independent identically distributed
MB	multi band
MBOA	MultiBand OFDM Alliance
Mbps	mega bit per second
MEA	multi element arrays
MIMO	multiple input multiple output
MMSE	minimum mean square error
MRC	maximal ratio combining
NLOS	non line of sight
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing
PAM	pulse amplitude modulation

PM	pulse modulation
PPM	pulse phase modulation
pdf	power distribution function
PSD	power spectral density
PSK	phase shift keying
PSM	pulse shape modulation
RF	radio frequency
THSS	time hopping spread spectrum
QAM	quadrature amplitude modulation
QPSK	quadrature phase shift keying
SB	single band
SISO	single input single output
SNR	signal to noise ratio
STC	space time coding
SVD	singular value decomposition
US-DARPA	United State Defense Advanced Research Project Agency
US-FCC	United State Federal Communication Commission
UWB	ultra wideband
UWB-IR	ultra wideband-impulse radio

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
$(\cdot)^T$	(<i>superscript</i>) transpose matriks
$(\cdot)^h$	(<i>superscript</i>) hermitian matriks
C	kapasitas kanal
c^*	konjugasi kompleks vektor/matriks/skalar
$\det(\cdot)$	determinan matriks
$E[\]$	operator ekspektasi kondisional
E_b	energi efektif per bit
E_s	energi simbol di <i>receiver</i>
e	vektor eigen
e	$\ln e = 1$
f_s	frekuensi <i>subcarrier</i>
H	matriks kanal
I_N	matriks identitas $N \times N$
I_R	matriks identitas berorde R
j, t	indeks antena <i>transmitter</i> pada matriks H
i, r	indeks antena <i>receiver</i> pada matriks H
k	indeks <i>subcarrier</i>
\log_2	logaritma dasar dua
n_R, R	jumlah antena <i>receiver</i> ($x_{n,k}$ = simbol OFDM ke n yang ditransmisikan pada <i>subcarrier</i> ke k)
n	indeks simbol OFDM
N	jumlah aliran pengganti paralel
N	jumlah subkanal (<i>subcarrier</i>)
N_s	jumlah <i>subcarrier</i>
n_T, T	jumlah antena <i>transmitter</i>
P	probabilitas BER

P_0	daya rata-rata yang ditransmisikan pada kanal
Q	fungsi Q: $(1 / \sqrt{2\pi}) \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$
R_x	antena <i>receiver</i>
s	simbol vektor
$s[n]$	aliran serial digit biner
t	waktu
T	jumlah kanal spasial
T_s	periode simbol TxN
T_x	antena pengirim
U, V	matriks unitaris non singular orthogonal
x	vektor sinyal yang dikirim dalam domain waktu
\hat{X}	vektor simbol termodulasi
y	vektor sinyal yang diterima dalam domain waktu
α, β	variabel acak terdistribusi normal
δ_i	penguatan kanal spasial
η	indeks <i>noise</i>
π	pi (3,14 radian atau 180°)
σ^2	varians <i>noise</i>
∞	tak berhingga
λ, Λ	nilai eigen
Σ	matriks nilai singular
$\sum_{k=0}^{N-1} x_k$	penjumlahan sepanjang notasi k: k = 0, 1, 2, ..., N-1 (= $x_0 + x_1 + x_2 + \dots + x_{N-1}$)
\prod	proyeksi <i>rectangular</i>
$\prod_{t=1}^T \delta_t$	perkalian sepanjang notasi t: t = 1, 2, 3, ..., T (= $t_1 \times t_2 \times t_3 \times \dots \times t_T$)

