

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
Intisari.....	xvi
<i>Abstract</i> .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Metodologi Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	6
BAB II LANDASAN TEORI .....	8
2.1 Karakteristik Kanal Nirkabel .....	8
2.1.1 Kanal Pudaran .....	9
2.2 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i> .....	11
2.3 <i>Multiple Input Multiple Output (MIMO)</i> .....	13
2.4 <i>Alamouti Space Time Block Coding</i> .....	15
2.5 Standar IEEE 802.11n/ac .....	18
2.6 <i>Software Defined Radio (SDR)</i> .....	18
2.7 <i>Universal Software Radio Peripheral (USRP)</i> .....	20
2.8 GNU Radio .....	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	24
3.1 <i>Out of Tree Module</i> GNU Radio.....	24
3.2 Skema <i>Transmitter</i> MIMO OFDM.....	27
3.2.1 <i>Input</i> bit informasi .....	28
3.2.2 Penyandian FEC .....	28
3.2.3 Penyusunan paket data .....	32
3.2.4 Penyandian Alamouti OFDM.....	35
3.2.5 Penambahan <i>cyclic prefix</i> .....	39
3.2.6 Antarmuka ke USRP N210 .....	41
3.3 Sistem <i>receiver</i> MIMO OFDM.....	43
3.2.1 Antarmuka dari USRP N210 .....	44
3.2.2 Penapis kanal dan sinkronisasi .....	45
3.2.3 OFDM <i>sampler</i> dan proses FFT .....	48
3.2.4 Pengawasandi Alamouti OFDM.....	49
3.2.5 Serialisasi OFDM dan <i>payload demapper</i> .....	50
3.2.6 Pengawasandi FEC .....	53
3.2.7 Pembacaan bit terpulihkan .....	54
3.4 Skema Eksperimen .....	55
3.5 Langkah Pengambilan Data Eksperimen.....	58
3.5.1 Menampilkan spektrum MIMO OFDM pada GRC .....	58
3.5.2 Menampilkan diagram konstelasi.....	60
3.5.3 Menghitung SNR <i>receiver</i> .....	60
3.5.4 Menghitung nilai <i>bit error rate</i> (BER).....	62
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....	63
4.1 Analisa spektrum MIMO OFDM .....	63
4.2 Analisa bentuk diagram konstelasi .....	67
4.3 Analisa <i>bit error rate</i> (BER).....	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	75
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran .....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77

LAMPIRAN .....	79
L.1 Data hasil eksperimen.....	79
L.2 Skema <i>flow graph</i> MIMO OFDM .....	115

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Notasi kanal antara antenna pengirim dan penerima.....	17
Tabel 2.2 Notasi sinyal diterima pada kedua antenna penerima .....	17
Tabel 2.3 Konfigurasi <i>bandwidth</i> pada standar IEEE 802.11n/ac [10].....	18
Tabel 2.4 Spesifikasi USRP N210.....	21
Tabel 3.1 Jenis blok modul pada GNU Radio [12] .....	26
Tabel 3.2 Kondisi keadaan ( <i>state</i> ) sesuai <i>file</i> AWGN1o2_16.fsm.....	32
Tabel 3.3 Kondisi keluaran ( <i>output</i> ) sesuai <i>file</i> AWGN1o2_16.fsm .....	32
Tabel 3.4 Tabel konstelasi QPSK.....	34
Tabel 3.5 Pemetaan simbol <i>stream</i> ke dalam alokasi <i>subcarrier</i> .....	38
Tabel 3.6 Parameter eksperimen MIMO OFDM .....	57
Tabel 3.7 Spesifikasi perangkat eksperimen .....	57
Tabel 4.1 Nilai BER rata-rata MIMO OFDM tanpa FEC .....	71
Tabel 4.2 Nilai BER rata-rata MIMO OFDM dengan FEC .....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan spektrum FDM dan OFDM.....	12
Gambar 2.2 Konfigurasi MIMO dengan $N \times M$ antenna.....	13
Gambar 2.3 Blok diagram sederhana sistem Alamouti STBC.....	15
Gambar 2.4 Struktur penerima ( <i>receiver</i> ) pada Alamouti STBC.....	16
Gambar 2.5 Blok diagram dari <i>software defined radio</i> (SDR). ....	19
Gambar 2.6 <i>Board Universal Software Radio Peripheral N210</i> (USRP N210).....	20
Gambar 2.7 Modul GPS-DO ( <i>GPS-Disciplined Oscillator</i> ).....	21
Gambar 2.8 <i>GNU Radio Companion</i> (GRC) pada platform Ubuntu 14.04. ....	23
Gambar 3.1 Perintah modul <i>out of tree</i> GNU Radio menggunakan terminal. ....	25
Gambar 3.2 Membuat area kerja modul <i>out of tree</i> GNU Radio pada terminal. ....	25
Gambar 3.3 Perintah instalasi modul <i>out of tree</i> GNU Radio pada terminal. ....	26
Gambar 3.4 Modul <i>out of tree</i> yang terpasang pada <i>GNU Radio Companion</i> . ....	27
Gambar 3.5 Skema <i>transmitter</i> MIMO OFDM pada <i>GNU Radio Companion</i> . ....	27
Gambar 3.6 Blok <i>random source</i> dan <i>stream to tagged stream</i> di GRC. ....	28
Gambar 3.7 Blok penyandian kanal (FEC) pada <i>GNU Radio Companion</i> . ....	30
Gambar 3.8 Skema <i>trellis</i> diagram sesuai file AWGN1o2_16.fsm.....	31
Gambar 3.9 Struktur penyusunan paket data.....	33
Gambar 3.10 Blok <i>OFDM mapper</i> di <i>GNU Radio Companion</i> .....	33
Gambar 3.11 Blok penyandian Alamouti OFDM di GRC. ....	35
Gambar 3.12 Struktur <i>frame</i> simbol OFDM. ....	35
Gambar 3.13 Runtun simbol <i>preamble</i> Schmidl & Cox. ....	36
Gambar 3.14 Runtun simbol <i>preamble</i> estimasi kanal pengirim 1 (Tx1). ....	36
Gambar 3.15 Runtun simbol <i>preamble</i> estimasi kanal pengirim 2 (Tx2). ....	37
Gambar 3.16 Runtun simbol <i>guard preamble</i> . ....	37
Gambar 3.17 Ilustrasi fenomena <i>inter symbol interference</i> (ISI) di domain waktu... 40	
Gambar 3.18 Ilustrasi penggunaan <i>cyclic prefix</i> di domain waktu. ....	40
Gambar 3.19 Ilustrasi proses penambahan <i>cyclic prefix</i> pada sampel OFDM.....	41
Gambar 3.20 Blok <i>cyclic prefix</i> dan <i>multiply const</i> pada <i>GNU Radio Companion</i> . ..	41

Gambar 3.21 Blok <i>UHD: USRP Sink</i> sebagai antarmuka USRP.....	42
Gambar 3.22 Skema blok implementasi <i>receiver</i> MIMO OFDM di GRC. ....	43
Gambar 3.23 Blok <i>UHD:USRP Source</i> pada <i>GNU Radio Companion</i> . ....	44
Gambar 3.24 Detail parameter pada blok <i>UHD: USRP Source</i> di GRC.....	44
Gambar 3.25 Blok FFT <i>filter</i> di GRC untuk proses penapisan. ....	45
Gambar 3.26 Blok sinkronisasi <i>Schmidl &amp; Cox</i> dan <i>frequency mod</i> di GRC. ....	45
Gambar 3.27 Distribusi <i>preamble</i> Schmidl & Cox di domain frekuensi. ....	46
Gambar 3.28 <i>Magnitude</i> preamble Schmidl & Cox di ranah waktu. ....	46
Gambar 3.29 Metode <i>timing metric</i> pada teori Schmidl & Cox [13]. ....	48
Gambar 3.30 Blok OFDM <i>sampler</i> dan blok FFT pada <i>GNU Radio Companion</i> . ....	49
Gambar 3.31 Blok Alamouti OFDM <i>decoder</i> pada <i>GNU Radio Companion</i> .....	49
Gambar 3.32 Proses serialisasi dan <i>demapping</i> simbol <i>stream</i> di GRC. ....	51
Gambar 3.33 <i>State machine</i> dari blok <i>demapper</i> OFDM [15]. ....	52
Gambar 3.34 Parameter dari blok <i>constellation object</i> . ....	52
Gambar 3.35 Blok Viterbi <i>combo</i> pada <i>GNU Radio Companion</i> . ....	53
Gambar 3.36 Proses pengawasandi Viterbi dengan diagram <i>trellis</i> .....	54
Gambar 3.37 Blok proses pembacaan bit terpulihkan di GRC. ....	55
Gambar 3.38 Contoh hasil bit informasi terpulihkan dengan <i>lfhex</i> .....	55
Gambar 3.39 Skema eksperimen <i>line of sight</i> (LOS).....	58
Gambar 3.40 Skema eksperimen <i>non-line of sight</i> (NLOS).....	58
Gambar 3.41 Blok <i>WX GUI FFT Sink</i> untuk menampilkan spektrum.....	59
Gambar 3.42 Contoh hasil spektrum frekuensi (sesaat).....	59
Gambar 3.43 Blok <i>WX GUI Scope Sink</i> di <i>GNU Radio Companion</i> . ....	60
Gambar 3.44 Contoh hasil diagram konstelasi pada sisi penerima. ....	60
Gambar 3.45 Blok <i>rms</i> dan <i>WX number sink</i> di <i>GNU Radio Companion</i> . ....	61
Gambar 3.46 Proses menghitung nilai BER di <i>GNU Radio Companion</i> (GRC). ....	62
Gambar 3.47 Contoh hasil nilai BER pada <i>GNU Radio Companion</i> (GRC). ....	62
Gambar 4.1 Bentuk sinyal OFDM pada sisi <i>transmitter</i> di ranah waktu. ....	63
Gambar 4.2 Spektrum OFDM pada sisi <i>transmitter</i> di ranah frekuensi (sesaat). ....	64
Gambar 4.3 Spektrum OFDM pada sisi <i>transmitter</i> di ranah frekuensi (rata-rata)....	64
Gambar 4.4 Bentuk spektrum pada <i>receiver</i> dengan SNR 8 dB (sesaat).....	66

Gambar 4.5 Bentuk spektrum pada <i>receiver</i> dengan SNR 8 dB (rata-rata). ....	66
Gambar 4.6 Spektrum <i>noise</i> pada frekuensi 2,7 GHz (rata-rata). ....	67
Gambar 4.7 Spektrum <i>noise</i> pada frekuensi 2,7 GHz (sesaat). ....	67
Gambar 4.8 Bentuk diagram konstelasi QPSK di sisi <i>transmitter</i> . ....	68
Gambar 4.9 Diagram konstelasi pada <i>receiver</i> sebelum dan sesudah ekualisasi. ....	69
Gambar 4.10 Performa BER MIMO OFDM tanpa FEC. ....	72
Gambar 4.11 Performa BER MIMO OFDM dengan FEC. ....	73