

**SKRIPSI**

**TEKNIK EKUALISASI *ZERO FORCING* PADA SISTEM  
*MULTI CARRIER OFDM* MENGGUNAKAN KANAL V2V  
DENGAN *SCATTERER* BERGERAK**

***ZERO FORCING EQUALIZATION TECHNIQUES WITH OFDM  
MULTI CARRIER SYSTEM USING V2V CHANNEL WITH  
MOVING SCATTERER***



Disusun oleh

**GALIH SASMI RAMDHANI  
20101203**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2024**

**SKRIPSI**

**TEKNIK EKUALISASI *ZERO FORCING* PADA SISTEM  
*MULTI CARRIER OFDM* MENGGUNAKAN KANAL *V2V*  
DENGAN *SCATTERER* BERGERAK**

***ZERO FORCING EQUALIZATION TECHNIQUES WITH OFDM  
MULTI CARRIER SYSTEM USING V2V CHANNEL WITH  
MOVING SCATTERER***



Disusun oleh

**GALIH SASMI RAMDHANI  
20101203**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2024**

**TEKNIK EKUALISASI *ZERO FORCING* PADA SISTEM  
*MULTI CARRIER OFDM* MENGGUNAKAN KANAL *V2V*  
DENGAN *SCATTERER* BERGERAK**

***ZERO FORCING EQUALIZATION TECHNIQUES WITH OFDM  
MULTI CARRIER SYSTEM USING V2V CHANNEL WITH  
MOVING SCATTERER***

**Skripsi ini digunakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T.)  
Di Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
2024**

Disusun oleh

**GALIH SASMI RAMDHANI  
20101203**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Dr. Wahyu Pamungkas, S.T., M.T.  
Reni Dyah Wahyuningrum, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**TEKNIK EKUALISASI *ZERO FORCING* PADA SISTEM MULTI  
CARRIER OFDM MENGGUNAKAN KANAL V2V DENGAN *SCATTERER*  
BERGERAK**

***ZERO FORCING EQUALIZATION TECHNIQUES WITH OFDM MULTI  
CARRIER SYSTEM USING V2V CHANNEL WITH MOVING SCATTERER***

Disusun oleh  
GALIH SASMI RAMDHANI  
20101203

Telah dipertanggungjawabkan dihadapan Tim Penguji pada tanggal  
18 Januari 2024

Susunan Tim Penguji

Pembimbing Utama : Dr. Wahyu Pamungkas, S.T., M.T.  
NIDN. 0606037801

Pembimbing Pendamping : Reni Dyah Wahyuningrum, S.T., M.T.  
NIDN. 0606079501

Penguji 1 : Solichah Larasati, S.T., M.T.  
NIDN. 0617069301

Penguji 2 : Khoirun Ni'amah, S.T., M.T.  
NIDN. 0619129301



**Mengetahui,**

Ketua Program Studi **S1 Teknik Telekomunikasi**  
Institut Teknologi Telkom Purwokerto

  
Prasetyo Yulianto, S.T., M.T.  
NIDN. 0620079201

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya, GALIH SASMI RAMDHANI, menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“Teknik Ekualisasi *Zero Forcing* Pada Sistem *Multi Carrier OFDM* Menggunakan Kanal V2V Dengan *Scatterer Bergerak*”** adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan kecuali melalui pengutipan sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku. Saya bersedia menanggung risiko ataupun sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam skripsi saya ini.

Purwokerto, 19 Desember 2023

Yang Menyatakan,



( Galih Sasmı Ramdhani )

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>v</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    LATAR BELAKANG .....	1
1.2    RUMUSAN MASALAH .....	2
1.3    BATASAN MASALAH .....	3
1.4    TUJUAN .....	3
1.5    MANFAAT .....	3
1.6    SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1    KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.2    DASAR TEORI.....	6
2.2.1 Sistem Komunikasi <i>Vehicle to Vehicle</i> (V2V).....	6
2.2.2 Modulasi Digital.....	7
2.2.3 Modulasi <i>Binary Phase Shift Keying</i> (BPSK).....	7
2.2.4 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> (OFDM).....	9
2.2.4.1 Konfigurasi OFDM.....	11

2.2.5	Pemodelan Kanal <i>Vehicle to Vehicle</i> (V2V) .....	13
2.2.6	Derau AWGN.....	16
2.2.7	Efek <i>Doppler</i> .....	17
2.2.7.1	<i>Doppler Shift</i> .....	17
2.2.7.2	<i>Doppler Spread</i> .....	18
2.2.8	Ekualisasi .....	18
2.2.8.1	<i>Zero Forcing</i> (ZF).....	19
2.2.9	<i>Bit Error Rate</i> (BER).....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>21</b>
3.1	ALAT YANG DIGUNAKAN .....	21
3.2	ALUR PENELITIAN.....	21
3.3	PARAMETER SIMULASI .....	22
3.4	PEMODELAN SISTEM .....	23
3.4.1	Data Masukan.....	24
3.4.2	<i>Mapper</i> BPSK.....	24
3.4.3	<i>Serial to Parallel</i> (S/P).....	25
3.4.4	Proses <i>Invers Fast Fourier Transform</i> (IFFT) .....	26
3.4.5	Penambahan <i>Cyclic Prefix</i> (CP).....	27
3.4.6	<i>Parallel to Serial</i> (P/S).....	28
3.4.7	Pemodelan Kanal <i>Vehicle to Vehicle</i> (V2V).....	28
3.4.8	Proses Ekualisasi .....	29
3.4.9	<i>Serial to Parallel</i> (S/P).....	29
3.4.10	Menghilangkan <i>Cyclic Prefix</i> (CP) .....	30
3.4.11	Proses <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) .....	31
3.4.12	Demodulasi .....	32
3.4.13	<i>Parallel to Serial</i> (P/S).....	32

3.4.14	Data Keluaran.....	33
3.4.15	Simulasi <i>Bit Error Rate</i> (BER) .....	34
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
4.1	ALUR SIMULASI .....	35
4.2	VALIDASI KANAL V2V .....	35
4.2.1	Validasi Distribusi Normal.....	36
4.2.2	Validasi Fungsi Autokorelasi .....	37
4.3	SIMULASI KANAL V2V DENGAN <i>MULTI CARRIER</i> OFDM .....	39
4.4	VALIDASI INTEGRASI KANAL V2V DENGAN OFDM.....	40
4.4.1	Integrasi Kanal V2V Dengan OFDM Tanpa Mitigasi .....	41
4.4.2	Integrasi Kanal V2V Dengan OFDM Dengan Mitigasi .....	44
4.5	PERBANDINGAN OFDM NON ZF DENGAN OFDM ZF .....	47
4.5.1	Analisa Pengaruh Kecepatan <i>Scatterer</i> .....	51
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>56</b>
5.1	KESIMPULAN .....	56
5.2	SARAN .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>58</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komunikasi V2V dan V2I [9] .....	6
Gambar 2. 2 Diagram Konstelasi pada BPSK [11] .....	8
Gambar 2. 3 Sinyal Modulasi BPSK [11] .....	9
Gambar 2. 4 <i>Spectrum</i> Sinyal Modulasi BPSK [11] .....	9
Gambar 2. 5 Perbandingan Penggunaan <i>Frequency</i> (a) FDM (b) OFDM [12] ....	10
Gambar 2. 6 <i>Spectrum</i> OFDM (a) <i>Sub</i> -kanal OFDM (b) Sinyal OFDM [12] .....	11
Gambar 2. 7 <i>Block</i> Diagram OFDM [16] .....	12
Gambar 2. 8 Skenario Propagasi Kanal V2V [5] .....	14
Gambar 2. 9 <i>Doppler Shift</i> [19] .....	17
Gambar 2. 10 <i>Doppler Spread</i> [19] .....	18
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Alur Penelitian .....	22
Gambar 3. 2 Pemodelan Sistem OFDM .....	23
Gambar 3. 3 Sinyal Masukan .....	24
Gambar 3. 4 Bit Biner Sinyal Masukan .....	24
Gambar 3. 5 Diagram Konstelasi BPSK .....	25
Gambar 3. 6 <i>Mapper</i> BPSK .....	25
Gambar 3. 7 Pengubah Data Serial ke Paralel .....	25
Gambar 3. 8 <i>Output Serial to Parallel</i> sisi TX .....	26
Gambar 3. 9 Bagan IFFT .....	26
Gambar 3. 10 Hasil Keluaran IFFT .....	27
Gambar 3. 11 <i>Output</i> Penambahan <i>Cyclic Prefix</i> .....	28
Gambar 3. 12 Pengubah Data <i>Parallel to Serial</i> .....	28
Gambar 3. 13 <i>Output</i> dari <i>Parallel to Serial</i> sisi TX .....	28
Gambar 3. 14 <i>Output Receive Non ZF</i> .....	29
Gambar 3. 15 <i>Output Receive ZF</i> .....	29
Gambar 3. 16 <i>Output S/P ZF</i> pada sisi RX .....	30
Gambar 3. 17 <i>Output Removing Cyclic Prefix</i> .....	31
Gambar 3. 18 Hasil Keluaran FFT .....	31
Gambar 3. 19 Hasil Keluaran Demodulasi .....	32
Gambar 3. 20 <i>Output</i> dari <i>Parallel to Serial</i> pada RX .....	33
Gambar 3. 21 Hasil Keluaran Bit Input .....	33

Gambar 3. 22 Hasil Keluaran <i>Non Zero Forcing</i> .....	34
Gambar 3. 23 Hasil Keluaran <i>Zero Forcing</i> .....	34
Gambar 4. 1 Sinyal V2V Kecepatan 27 m/s 8 <i>Scatterer</i> .....	36
Gambar 4. 2 Distribusi Normal Pada Kecepatan (a) 7 m/s, (b) 17 m/s, dan (c) 27 m/s Dengan 8 <i>Scatterer</i> .....	37
Gambar 4. 3 Hasil Grafik Fungsi Autokorelasi Pada Kecepatan (a) 7 m/s, (b) 17 m/s, dan (c) 27 m/s Dengan 8 <i>Scatterer</i> .....	38
Gambar 4. 4 Hasil Fungsi Autokorelasi Pada Kecepatan (a) 7 m/s, (b) 17 m/s, dan (c) 27 m/s Dengan 8 <i>Scatterer</i> .....	39
Gambar 4. 5 Hasil Perkalian Matrik Antara Kanal V2V Dengan OFDM.....	40
Gambar 4. 6 Perbandingan <i>Doppler Effect</i> pada 3 kecepatan.....	41
Gambar 4. 7 Perbandingan Nilai BER Teori Pada Kanal V2V Dengan OFDM Pada Semua Kecepatan Tanpa Mitigasi.....	42
Gambar 4. 8 Perbandingan Nilai BER Teori Pada Kanal V2V Dengan OFDM Pada Semua Kecepatan Dengan Mitigasi.....	45
Gambar 4. 9 Perbandingan BER OFDM <i>Non ZF</i> Dengan OFDM <i>ZF</i> .....	47
Gambar 4. 10 <i>Eb/No</i> vs Jumlah <i>Error</i> 3 kecepatan <i>NZF</i> dan <i>ZF</i> .....	50
Gambar 4. 11 Jumlah <i>Error Scatters</i> 8 dengan kecepatan 7 m/s.....	50
Gambar 4. 12 Grafik <i>Eb/No</i> VS <i>Number Of Error</i> <i>NZF</i> dan <i>ZF</i> 5 m/s.....	51
Gambar 4. 13 Grafik <i>Eb/No</i> VS <i>Number Of Error</i> <i>NZF</i> dan <i>ZF</i> 10 m/s.....	52
Gambar 4. 14 Grafik <i>Eb/No</i> VS <i>Number Of Error</i> <i>NZF</i> dan <i>ZF</i> 15 m/s.....	53
Gambar 4. 15 Perbandingan BER <i>Non ZF</i> dengan 3 Kecepatan.....	54
Gambar 4. 16 Perbandingan BER <i>ZF</i> dengan 3 Kecepatan.....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Simulasi.....	23
Tabel 4. 1 Perbandingan <i>Doppler Effect</i> pada 3 kecepatan.....	41
Tabel 4. 2 Nilai BER Pada Semua Kecepatan Tanpa Mitigasi.....	43
Tabel 4. 3 Jumlah <i>Bit Error</i> terhadap Eb/No Tanpa Mitigasi.....	43
Tabel 4. 4 Nilai BER Pada Semua Kecepatan Dengan Mitigasi.....	45
Tabel 4. 5 Jumlah <i>Bit Error</i> Terhadap Eb/No Dengan Mitigasi.....	46
Tabel 4. 6 Perbandingan BER OFDM NZF VS OFDM ZF.....	48
Tabel 4. 7 Nilai BER dan Jumlah <i>Error Scatterer</i> 8 dengan kecepatan 7 m/s.....	48
Tabel 4. 8 Nilai BER dan Jumlah <i>Error Scatterers</i> 8 dengan kecepatan 17 m/s ..	49
Tabel 4. 9 Nilai BER dan Jumlah <i>Error Scatterers</i> 8 dengan kecepatan 27 m/s ..	49
Tabel 4. 10 Nilai BER dan Jumlah <i>Error Scatterer</i> 8 dengan kecepatan 5 m/s....	51
Tabel 4. 11 Nilai BER dan Jumlah <i>Error Scatterer</i> 8 dengan kecepatan 10 m/s..	52
Tabel 4. 12 Nilai BER dan Jumlah <i>Error Scatterer</i> 8 dengan kecepatan 15 m/s..	53