

HALAMAN JUDUL

**TEKNIK EKUALISASI *ZERO FORCING* PADA SISTEM
MULTI CARRIER GFDM-OQAM MENGGUNAKAN KANAL
V2V DENGAN *SCATTERER* BERGERAK**

***ZERO FORCING EQUALIZATION TECHNIQUE IN GFDM-
OQAM MULTI CARRIER SYSTEM USING V2V CHANNEL
WITH MOVING SCATTERERS***

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

Disusun oleh

**NOR RAHMAN HIDAYAT
20101188**

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Wahyu Pamungkas, S.T., M.T.

Dr. Anggun Fitriani Isnawati, S.T., M.Eng.

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

TEKNIK EKUALISASI *ZERO FORCING* PADA SISTEM *MULTI CARRIER GFDM-OQAM* MENGGUNAKAN KANAL *V2V* DENGAN *SCATTERER BERGERAK*

ZERO FORCING EQUALIZATION TECHNIQUE IN GFDM-OQAM MULTI CARRIER SYSTEM USING V2V CHANNEL WITH MOVING SCATTERERS

Disusun oleh
NOR RAHMAN HIDAYAT
20101188

Telah dipertanggungjawabkan dihadapan Tim Penguji pada tanggal 2 September
2022

Susunan Tim Penguji

Pembimbing Utama : Dr. Wahyu Pamungkas., S.T.,M.T. (A)

NIDN.0606037801

Pembimbing Pendamping : Dr. Anggun Fitriani Isnawati., S.T., M.Eng. (F)

NIDN.0604097801

Penguji 1 : Zein Hanni Pradana., S.T.,M.T. (Z)

NIDN. 0604039001

Penguji 2 : Petrus Kerowe Goran., S.T., M.T. (P)

NIDN. 0620018502

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi
Institut Teknologi Telkom Purwokerto


Prasetyo Yuliantoro, S.T.,M.T.
NIDN. 0617068801

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya, NOR RAHMAN HIDAYAT, menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“TEKNIK EKUALISASI *ZERO FORCING* PADA SISTEM *MULTI CARRIER GFDM-OQAM* MENGGUNAKAN KANAL *V2V* DENGAN *SCATTERER BERGERAK*”** adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan kecuali melalui pengutipan sesuai dengan etika kelimuan yang berlaku. Saya bersedia menanggung risiko ataupun sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan pelanggaran terhadap etika kelilmuan dalam skripsi saya ini.

Purwokerto, 5 Agustus 2022

Yang Menyatakan,



(Nor Rahman Hidayat)

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **TEKNIK EKUALISASI ZERO FORCING PADA SISTEM MULTI CARRIER GFDM-OQAM MENGGUNAKAN KANAL V2V DENGAN SCATTERER BERGERAK** ”.

Maksud dari penyusunan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh ujian sarjana Teknik Telekomunikasi pada Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro Institut Teknologi Telkom Purwokerto.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang sangat membantu penulis dalam berbagai hal. Oleh karena itu, penulis sampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Dr. Wahyu Pamungkas, S.T., M.T, selaku pembimbing I.
2. Ibu Dr. Anggun Fitriani Isnawati, S.T., M.Eng, selaku pembimbing II.
3. Bapak Prasetyo Yuliantoro, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi.
4. Bapak Dr. Arfianto Fahmi, S.T., M.T., IPM, selaku Rektor Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Program studi S1 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
6. Istri, anak serta keluarga saya yang telah mendukung saya untuk melanjutkan studi lanjut di ITTP.
7. Seluruh rekan Subdit Satellite Operation Telkomsat yang telah mendukung saya.

Purwokerto, 5 Agustus 2022



(Nor Rahman Hidayat)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	III
HALAMAN PENGESAHAN	IV
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	V
PRAKATA	VI
ABSTRAK	VII
ABSTRACT	VIII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR TABEL.....	XV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 BATASAN MASALAH.....	4
1.4 TUJUAN.....	4
1.5 MANFAAT	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 KAJIAN PUSTAKA	6
2.2 DASAR TEORI.....	7
2.2.1 <i>Vehicle Ad-hoc Networks (VANETs)</i>	7
2.2.2 Modulasi Digital	9
2.2.2.1 Modulasi QAM.....	9
2.2.2.2 Modulasi <i>Offset-QAM</i>	11
2.2.3 Efek <i>Doppler</i>	13
2.2.3.1 <i>Doppler Shift</i>	13
2.2.3.2 <i>Doppler Spread</i>	15
2.2.4 <i>Generalized Frequency Division Multiplexing (GFDM)</i>	16
2.2.5.1 <i>Transmitter</i>	18
2.2.5.2 <i>Receiver</i>	20
2.2.5.3 Prinsip dari GFDM-OQAM	21
2.2.5.4 <i>Cyclic Prefix (CP)</i>	22

2.2.5.5	<i>Pulse Shaping Filter</i>	23
2.2.5	Pemodelan Kanal <i>Vehicle to Vehicle</i>	24
2.2.6	Derau AWGN	27
2.2.7	Ekualisasi Linier	28
2.2.7.1	Model Saluran <i>Equalizer</i> Linier Spasi Simbol	30
2.2.7.2	Ekualisasi <i>Zero Forcing</i>	33
2.2.8	<i>Bit Error Rate (BER) Probability</i>	35
BAB III	METODE PENELITIAN	37
3.1	ALAT YANG DIGUNAKAN	37
3.2	ALUR PENELITIAN	37
3.2.1	Penetapan Kanal	39
3.2.2	Parameter Simulasi	40
3.2.3	Pemodelan Sistem	41
3.2.3.1	Bagian <i>Transmitter</i>	41
1)	<i>Bit Input</i>	41
2)	<i>Encoder</i>	42
3)	<i>Mapping 16-QAM</i>	43
4)	<i>Modulator GFDM-OQAM</i>	45
3.2.3.2	Kanal <i>Vehicle to Vehicle</i>	49
3.2.3.3	Bagian <i>Receiver</i>	50
1)	<i>Remove Cyclic Prefix</i>	50
2)	Ekualisasi <i>Zero Forcing</i>	51
3)	<i>Demodulator GFDM</i>	51
5)	<i>Decoder</i>	54
6)	<i>Bit Output</i>	54
7)	Simulasi BER	55
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1	ALUR SIMULASI	56
4.2	VALIDASI KANAL V2V	56
4.2.1	Validasi Distribusi Normal	57
4.2.2	Validasi Fungsi Autokorelasi	58

4.3	SIMULASI KANAL V2V DENGAN <i>MULTI CARRIER</i> GFDM-OQAM	61
4.4	VALIDASI INTEGRASI KANAL V2V DENGAN GFDM-OQAM	62
4.4.1	Integrasi Kanal V2V Dengan GFDM-OQAM Tanpa Mitigasi	63
4.4.2	Integrasi Kanal V2V Dengan GFDM-OQAM Dengan Mitigasi.....	66
4.4.3	Perbandingan GFDM-OQAM <i>Non ZF</i> Dengan GFDM-OQAM <i>ZF</i> ..	68
BAB V	PENUTUP	72
5.1	KESIMPULAN	72
5.2	SARAN.....	72
DAFTAR PUSTAKA	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur dan Kerangka Kerja WAVE [12].....	8
Gambar 2.2 Diagram Konstelasi 16 QAM [14]	10
Gambar 2.3 Sinyal Modulasi pada QAM dan OQAM[7]	11
Gambar 2.4 Time-Frequency Bagian Real dari Single Pulse pada QAM dan pada OQAM[7]	11
Gambar 2.5 Diagram Blok Modulator OQAM Menggunakan Pulse Shaping [7]	12
Gambar 2.6 Blok Diagram Demodulator OQAM dengan Pulse Shaping [7].....	13
Gambar 2.7 Doppler Shift[17]	14
Gambar 2.8 Ilustrasi Prinsip Dualitas Dalam Domain Waktu Dan Frekuensi [18]	16
Gambar 2.9 Blok Diagram Tranceiver GFDM[6].....	17
Gambar 2.10 Pembagian Slot Waktu dan Frekuensi antara OFDM, SC-FDE, SC-FDM, dan GFDM[6]	18
Gambar 2.11 Model GFDM Baseband Transmitter[19]	19
Gambar 2.12 Blok Diagram Pada Modulator GFDM[7]	19
Gambar 2.13 GFDM Matched Filter Receiver Model (baseband) [19].....	20
Gambar 2.14 Blok Diagram Transceiver GFDM-OQAM [20]	22
Gambar 2.15 Perbedaan Cyclic Prefix pada OFDM dan GFDM [6]	23
Gambar 2.16(a) <i>Raised Cosine</i> pada domain frekuensi dan (b) domain waktu [16]	24
Gambar 2.17 Propagasi Tx dan Rx Bergerak Sebagai Efek Hamburan Terhadap Scatterer Bergerak [4]	25
Gambar 2.18 Model Saluran Waktu Kontinu Dengan Equalizer Linier Spasi Simbol [26]	30
Gambar 2.19 Model Saluran Waktu Kontinu Dengan Equalizer Linier Berspasi Fraksional [26]	30
Gambar 2.20 Model Saluran Waktu-Diskrit Untuk Ekualisasi Linier Spasi-Simbol [26]	32
Gambar 2.21 Model Saluran Ekuivalen Dalam Domain Frekuensi Dengan Equalizer Linier [26].....	32
Gambar 3.1 Flowchart Alur Penelitian	38

Gambar 3.2 Pemodelan Sistem Utama GFDM-OQAM	41
Gambar 3.3 Sinyal Input	42
Gambar 3.4 Bit Biner Sinyal Input	42
Gambar 3.5 Hasil Bit Encoder	43
Gambar 3.6 Konstelasi 16-QAM	44
Gambar 3.7 Mapping Simbol 16-QAM	44
Gambar 3.8 Blok Diagram Modulator GFDM-OQAM	45
Gambar 3.9 Konversi Serial to Parallel.....	45
Gambar 3.10 Hasil Up-sampling.....	46
Gambar 3.11 Sinyal QAM dengan pulse shaping RRC dengan $\alpha = 1$	46
Gambar 3.12 Offset QAM Dengan Pulse Shaping	47
Gambar 3.13 Sinyal Subcarrier Pada OQAM	48
Gambar 3.14 Sinyal Setelah Mengalami Penambahan CP	49
Gambar 3.15 Hasil Sinyal Setelah Remove CP	51
Gambar 3.16 Perbandingan Sinyal Non ZF dan Sinyal ZF	51
Gambar 3.17 Blok Diagram Demodulator GFDM-OQAM.....	52
Gambar 3.18 Nilai Simulasi FFT	52
Gambar 3.19 Konversi Parallel to Serial.....	53
Gambar 3.20 Hasil Nilai Demapping.....	54
Gambar 3.21 Hasil Nilai Decoder.....	54
Gambar 3.22 Hasil Bit Output Non Zero Forcing.....	55
Gambar 3.23 Hasil Bit Output Zero Forcing	55
Gambar 4.1 Sinyal V2V Pada Kecepatan 30 m/s Dengan 8 Scatterer.....	57
Gambar 4.2 Distribusi Normal Pada Kecepatan (a) 17 m/s, (b) 22 m/s, dan (c) 30 m/s Dengan 8 Scatterer	58
Gambar 4.3 Hasil Grafik Fungsi Autokorelasi Pada Kecepatan (a) 17 m/s, (b) 22 m/s, dan (c) 30 m/s Dengan 8 Scatterer	59
Gambar 4.4 Hasil Fungsi Autokorelasi Pada Kecepatan (a) 17 m/s, (b) 22 m/s, dan (c) 30 m/s Dengan 8 Scatterer.....	60
Gambar 4.5 Hasil Perkalian Antara Kanal V2V Dengan GFDM-OQAM.....	61
Gambar 4.6 Sinyal Receive Ditambahkan Noise	62
Gambar 4.7 Nilai Frekuensi Doppler Pada Semua Kecepatan	63

Gambar 4.8 Perbandingan Nilai BER Teori Pada Kanal V2V Dengan GFDM-OQAM Pada Semua Kecepatan Tanpa Mitigasi.....	64
Gambar 4.9 Perbandingan Nilai BER Teori Pada Kanal V2V Dengan GFDM-OQAM Pada Semua Kecepatan Dengan Mitigasi	66
Gambar 4.10 Perbandingan BER GFDM-OQAM NZF VS GFDM-OQAM ZF..	69
Gambar 4.11 Perbandingan Jumlah Bit Error GFDM-OQAM NZF VS GFDM-OQAM ZF.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Simulasi	40
Tabel 4.1 Nilai BER Pada Semua Kecepatan Tanpa Mitigasi	64
Tabel 4.2 Jumlah <i>Bit Error</i> Terhadap Eb/No Tanpa Mitigasi	65
Tabel 4.3 Nilai BER Pada Semua Kecepatan Dengan Mitigasi.....	67
Tabel 4.4 Jumlah <i>Bit Error</i> Terhadap Eb/No.....	67
Tabel 4.5 Perbandingan BER GFDM-OQAM NZF VS GFDM-OQAM ZF	70
Tabel 4.6 Perbandingan Jumlah Bit Error GFDM-OQAM NZF VS GFDM-OQAM ZF	71