

**SKRIPSI**

**ANALISIS UNJUK KERJA GFDM-OQAM DENGAN  
MENGUNAKAN VARIASI TEKNIK EKUALISASI DAN  
*ROLL-OFF FACTOR* PADA TRANSMISI AUDIO**

***ANALYSIS OF GFDM-OQAM PERFORMANCE USING  
VARIATION OF EQUALIZATION TECHNIQUES AND ROLL-  
OFF FACTOR IN AUDIO TRANSMISSION***



Disusun oleh

**LARASATI SAAFA LATHIFAHSARI  
19101183**

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

**2023**

**SKRIPSI**

**ANALISIS UNJUK KERJA GFDM-OQAM DENGAN  
MENGUNAKAN VARIASI TEKNIK EKUALISASI DAN  
*ROLL-OFF FACTOR* PADA TRANSMISI AUDIO**

***ANALYSIS OF GFDM-OQAM PERFORMANCE USING  
VARIATION OF EQUALIZATION TECHNIQUES AND ROLL-  
OFF FACTOR IN AUDIO TRANSMISSION***



Disusun oleh

**LARASATI SAAFA LATHIFAHSARI  
19101183**

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

**2023**

**ANALISIS UNJUK KERJA GFDM-OQAM DENGAN  
MENGUNAKAN VARIASI TEKNIK EKUALISASI DAN  
*ROLL-OFF FACTOR* PADA TRANSMISI AUDIO**

***ANALYSIS OF GFDM-OQAM PERFORMANCE USING  
VARIATION OF EQUALIZATION TECHNIQUES AND ROLL-  
OFF FACTOR IN AUDIO TRANSMISSION***

**Skripsi ini digunakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T.)  
Di Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
2023**

Disusun oleh

**LARASATI SAAFA LATHIFAHSARI  
19101183**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Dr. Anggun Fitriani Isnawati, S.T., M.Eng.  
Dr. Alfin Hikmaturokhman, S.T., M.T.**

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

**2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

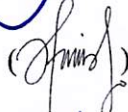
### ANALISIS UNJUK KERJA GFDM-OQAM DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI TEKNIK EKUALISASI DAN *ROLL-OFF FACTOR* PADA TRANSMISI AUDIO

### *ANALYSIS OF GFDM-OQAM PERFORMANCE USING VARIATION OF EQUALIZATION TECHNIQUES AND ROLL-OFF FACTOR IN AUDIO TRANSMISSION*

Disusun oleh  
LARASATI SAAFA LATHIFAHSARI  
19101183

Telah Dipertanggungjawabkan di hadapan Tim Penguji pada tanggal 18 Agustus 2023

#### Susunan Tim Penguji

Pembimbing Utama	: <u>Dr. Anggun Fitriani Isnawati, S.T., M.Eng.</u> (  ) NIDN. 0604097801
Pembimbing Pendamping	: <u>Dr. Alfin Hikmaturokhman, S.T., M.T.</u> (  ) NIDN. 0621087801
Penguji 1	: <u>Melinda Br. Ginting, S.T., M.T.</u> (  ) NIDN. 0622079601
Penguji 2	: <u>Solichah Larasati, S.T., M.T.</u> (  ) NIDN. 0617069301

#### Mengetahui,

Ketua Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi  
Institut Teknologi Telkom Purwokerto

  
Prasetyo Nugroho, S.T., M.T.  
NIDN. 0630079201

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya, **LARASATI SAAFA LATHIFAHSARI**, menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“ANALISIS UNJUK KERJA GFDM-OQAM DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI TEKNIK EKUALISASI DAN *ROLL-OFF FACTOR* PADA TRANSMISI AUDIO”** 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, 18 Agustus 2023

Yang menyatakan,



(Larasati Saafa Lathifahsari)

## **PRAKATA**

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“ANALISIS UNJUK KERJA GFDM-OQAM DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI TEKNIK EKUALISASI DAN *ROLL-OFF FACTOR* PADA TRANSMISI AUDIO”**.

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. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan saya kesehatan, jalan dan kesempatan dalam menyusun skripsi penulis hingga tuntas.
2. Kedua orang tua, Bapak Utoyo dan Ibu Lisawaty Indriyaningsih, S.T. serta adik kandung penulis Amalia Kamala Dewi yang selalu memberikan dukungan serta doa untuk kelancaran dalam mengerjakan skripsi.
3. Ibu Dr. Anggun Fitriani Isnawati, S.T., M.Eng. selaku pembimbing I atas segala bimbingan, arahan, dukungan serta ilmu yang sangat bermanfaat untuk penulis.
4. Bapak Dr. Alfin Hikmaturokhman, S.T., M.T. selaku pembimbing II atas segala ilmu yang telah diberikan serta bimbingan dan dukungan untuk penulis dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Mas Aly Afandi, S.T., M.T. selaku dosen pendamping dalam penyusunan skripsi penulis.
6. Bapak Prasetyo Yuliantoro., S.T., M.T. ketua Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi.
7. Ibu Dr. Tenia Wahyuningrum, S.Kom., M.T. selaku Rektor Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
8. Seluruh dosen, staf dan karyawan Program studi S1 Teknik Telekomunikasi Institut Teknologi Telkom Purwokerto.

9. Staf logistik asset IT Telkom Purwokerto Ibu Dina, Bapak Suroso, Mas Abdan dan Mas Khosirun yang senantiasa mendengarkan keluh kesah penulis dalam melewati perjalanan pengerjaan skripsi.
10. Teman-teman kelas S1TT07F, teman seperjuangan yang penulis sayangi dan banggakan, tanpa teman-teman kelas mungkin penulis tidak dapat melewati pembelajaran kelas dengan menyenangkan.
11. Sahabat-sahabat tercinta Dewi Prasasti, Logi Yosica Fulqi S.W dan Kharisma Riski Amalia yang selalu ada untuk penulis disaat sedang berada dititik susah dan selalu memberikan nasihat dan semangat.
12. Keluarga Laboratorium Dacomsat dan Barudak Lab Dacomsat yang selalu menjadi tempat penulis berkeluh kesah, menjadi tempat dalam melakukan pengerjaan skripsi, menjadi tempat dalam bertukar ilmu, pikiran dan memberikan semangat dalam pembuatan skripsi penulis.
13. Rizqi Wahyu Pratama pasangan penulis saat ini yang sudah meluangkan banyak waktunya untuk menghibur, memotivasi untuk terus maju, mendukung dalam keadaan susah maupun senang dan terima kasih sudah menjadi kakak, teman, sahabat untuk penulis.
14. Kepada seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Purwokerto, 18 Agustus 2023



(Larasati Saafa Lathifahsari)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1 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 .....	4
1.6    SISTEMATIKA PENULISAN .....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1    KAJIAN PUSTAKA .....	6
2.2    DASAR TEORI.....	10
2.2.1    Waveform (GFDM) .....	10
2.2.1.1    GFDM Transceiver .....	11
2.2.1.2    GFDM Modulator .....	13
2.2.2    Pulse Shaping Filter .....	15
2.2.3    16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) .....	18
2.2.4    Offset Quadrature Amplitude Modulation (OQAM).....	21
2.2.5    Cyclic Prefix (CP).....	28
2.2.6    Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN).....	29
2.2.7    Ekualisasi.....	31
2.2.7.1    Zero Forcing (ZF).....	31
2.2.7.2    Minimum Mean Square Error (MMSE) .....	32



2.2.8	Parameter Pengujian.....	33
2.2.8.1	<i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) .....	33
2.2.8.2	<i>Bit Error Rate</i> (BER) .....	34
2.2.8.3	<i>Symbol Error Rate</i> (SER).....	36
<b>BAB 3</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>38</b>
3.1	ALAT YANG DIGUNAKAN .....	38
3.2	ALUR PENELITIAN.....	38
3.2.1	Alur Penelitian GFDM-OQAM.....	39
3.3	PARAMETER SIMULASI.....	41
3.4	PEMODELAN SIMULASI GFDM-OQAM .....	41
3.4.1	Bagian <i>Transmitter</i> .....	44
3.4.1.1	Data Masukan Audio.....	44
3.4.1.2	<i>Encoder</i> .....	45
3.4.1.3	Pemetaan 16-QAM.....	45
3.4.2	GFDM Modulator.....	46
3.4.2.1	<i>Serial to Parallel</i> dan <i>Upsampling</i> .....	46
3.4.2.2	<i>Filter Pulse Shaping QAM</i> .....	47
3.4.2.3	<i>Offset-QAM</i> .....	48
3.4.2.4	Proses <i>Inverse Fast Fourier Transform</i> (IFFT) .....	48
3.4.3	Penambahan <i>Cyclic Prefix</i> .....	49
3.4.4	Kanal AWGN .....	50
3.4.5	Bagian <i>Receiver</i> .....	50
3.4.5.1	<i>Remove Cyclic Prefix</i> .....	51
3.4.5.2	Teknik Ekualisasi .....	51
3.4.6	GFDM Demodulator .....	52
3.4.6.1	Proses <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) .....	52
3.4.6.2	Proses <i>Remove Frequency Shifting</i> .....	52
3.4.6.3	Proses <i>Down Sampling</i> dan <i>Parallel to Serial</i> .....	52
3.4.7	<i>Demapping</i> 16-QAM.....	53
3.4.8	<i>Decoder</i> .....	53
3.4.9	Data Keluaran.....	54
3.5	ANALISIS DATA.....	54

<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>55</b>
4.1 PARAMETER PENELITIAN.....	55
4.2 PENGUJIAN TAHAPAN SIMULASI.....	55
4.2.1 Bagian <i>Transmitter</i> .....	55
4.2.1.1 Data Masukan <i>Audio</i> .....	55
4.2.1.2 <i>Encoder</i> .....	57
4.2.1.3 Pemetaan 16-QAM.....	57
4.2.2 GFDM Modulator.....	59
4.2.2.1 Proses Pembangunan Blok GFDM.....	59
4.2.2.2 <i>Filter Pulse Shaping QAM</i> .....	60
4.2.2.3 <i>Offset-QAM</i> .....	61
4.2.2.4 <i>Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)</i> .....	62
4.2.3 Penambahan <i>Cyclic Prefix</i> .....	63
4.2.4 Kanal AWGN.....	63
4.2.5 Bagian <i>Receiver</i> .....	64
4.2.5.1 <i>Remove Cyclic Prefix</i> .....	64
4.2.5.2 Teknik Ekualisasi.....	65
4.2.6 GFDM Demodulator.....	66
4.2.6.1 <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> .....	66
4.2.6.2 <i>Remove Frequency Shifting</i> .....	66
4.2.6.3 <i>Down Sampling dan Parallel to Serial</i> .....	67
4.2.7 <i>Demapping 16-QAM</i> .....	68
4.2.8 <i>Decoder</i> .....	68
4.2.9 Data Keluaran.....	68
4.3 PENGUJIAN PARAMETER SNR VS BER.....	69
4.3.1 Sistem GFDM-OQAM <i>Zero Forcing (GFDM-OQAM ZF)</i> .....	69
4.3.2 Sistem GFDM-OQAM <i>Minimum Mean Square Error (GFDM-OQAM MMSE)</i> .....	70
4.3.3 Perbandingan GFDM-OQAM ZF dan GFDM-OQAM MMSE.....	72
4.3.4 Perbandingan GFDM-OQAM ZF Pada Variasi <i>Roll-off factor</i> .....	73
4.3.5 Perbandingan GFDM-OQAM MMSE Pada Variasi <i>Roll-off factor</i> .....	74
4.4 PENGUJIAN PARAMETER SNR VS SER.....	76

4.4.1	Sistem GFDM-OQAM ZF .....	76
4.4.1	Sistem GFDM-OQAM MMSE .....	77
4.4.2	Perbandingan GFDM-OQAM ZF dan GFDM-OQAM MMSE.....	78
4.4.3	Perbandingan GFDM-OQAM ZF Pada Variasi <i>Roll-off factor</i> .....	79
4.4.4	Perbandingan GFDM-OQAM MMSE pada Variasi <i>Roll-off factor</i> . ....	81
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>		<b>83</b>
5.1	KESIMPULAN .....	83
5.2	SARAN.....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>85</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>88</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Blok GFDM [17]. .....	11
Gambar 2. 2 (a) Perbedaan Partisi Frekuensi dan Waktu Konteks OFDM, (b) Perbedaan Partisi Frekuensi dan Waktu Konteks GFDM [16].....	12
Gambar 2. 3 Model <i>Baseband Transmitter</i> GFDM [14].....	12
Gambar 2. 4 Blok Modulator GFDM [17].....	14
Gambar 2. 5 (a) Respon Impuls LPF Filter Nyquist Ideal dan (b) Respon Impuls LPF Pulsa Nyquist Ideal [18]. .....	17
Gambar 2. 6 Grafik (a) Filter RC dengan Domain Frekuensi, (b) Filter RC dengan Domain Waktu [18]. .....	18
Gambar 2. 7 Blok Diagram Modulasi QAM [14].....	19
Gambar 2. 8 <i>Mapping</i> Titik Konstelasi 16-QAM dan Kode <i>Gray</i> Bit Data [14]. .....	20
Gambar 2. 9 Diagram Blok Modulator OQAM [16]. .....	22
Gambar 2. 10 Bentuk dari Gelombang Sinyal OQAM [14].....	23
Gambar 2. 11 Contoh Ilustrasi <i>Crosstalk</i> Menggunakan <i>Pulse Shaping Raised Cosine Pulse</i> [20].....	24
Gambar 2. 12 (a) Penyebaran Energi Simbol dari QAM, (b) Penyebaran Energi Simbol dari OQAM [18].....	24
Gambar 2. 13 (a) Hasil <i>Scatter Plot</i> 16-QAM Tanpa <i>Offset</i> , (b) Hasil <i>Scatter Plot</i> 16-QAM dengan <i>Offset</i> [16].....	25
Gambar 2. 14 Diagram Blok dari Demodulator OQAM [17].....	25
Gambar 2. 15 Pra Pemrosesan <i>Offset</i> QAM [10]. .....	27
Gambar 2. 16 Pasca Pemrosesan <i>Offset</i> QAM [21].....	27
Gambar 2. 17 (a) Penggunaan CP pada <i>Waveform</i> OFDM, (b) Penggunaan CP pada <i>Waveform</i> GFDM [18]. .....	28
Gambar 2. 18 (a) <i>Gaussian Noise</i> PSD dan (b) <i>Gaussian Noise</i> Fungsi Autokorelasi [16]. .....	30
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Proses Penelitian. ....	38
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Simulasi Program GFDM-OQAM.....	40

Gambar 3. 3 Sistem Pemodelan GFDM-OQAM.....	42
Gambar 3. 4 Diagram Blok Modulator GFDM-OQAM. ....	42
Gambar 3. 5 Diagram Blok Demodulator GFDM-OQAM. ....	43
Gambar 3. 6 <i>Transmitter</i> Pada Sistem GFDM-OQAM. ....	44
Gambar 3. 7 <i>Receiver</i> Pada Sistem GFDM-OQAM.....	50
Gambar 4. 1 Data <i>Input</i> . ....	56
Gambar 4. 2 Data Input Bentuk Biner.....	57
Gambar 4. 3 Data Bit <i>Encoder</i> . ....	57
Gambar 4. 4 Diagram Konstelasi 16-QAM. ....	58
Gambar 4. 5 Data <i>Mapping</i> 16-QAM. ....	59
Gambar 4. 6 Data Pembentukan Blok GFDM. ....	59
Gambar 4. 7 Bagian Riil Pada Blok GFDM. ....	60
Gambar 4. 8 Bagian Imajiner Pada Blok GFDM. ....	60
Gambar 4. 9 Data Hasil Proses <i>Upsampling</i> . ....	60
Gambar 4. 10 Data Hasil <i>Pulse Shaping</i> . ....	61
Gambar 4. 11 Data Hasil Penambahan <i>Offset</i> pada OQAM. ....	61
Gambar 4. 12 Data Matriks <i>Inphase</i> . ....	62
Gambar 4. 13 Data Matriks <i>Quadrature</i> . ....	62
Gambar 4. 14 Data Hasil Matriks IFFT. ....	62
Gambar 4. 15 Matriks Data <i>Cyclic Prefix</i> . ....	63
Gambar 4. 16 Matriks Data Dari AWGN.....	64
Gambar 4. 17 Hasil <i>Remove CP</i> . ....	64
Gambar 4. 18 Hasil Matriks Penambahan Ekualisasi <i>Zero Forcing (ZF)</i> .....	65
Gambar 4. 19 Hasil Matriks Penambahan Ekualisasi <i>Minimum Mean Square Error (MMSE)</i> . ....	65
Gambar 4. 20 Data Hasil FFT.....	66
Gambar 4. 21 Data Hasil <i>Remove Frequency Shifting</i> . ....	67
Gambar 4. 22 Hasil <i>Down Sampling</i> Pada Sistem GFDM.....	67
Gambar 4. 23 Hasil Keluaran Paralel ke Serial. ....	67
Gambar 4. 24 Data Hasil Serial ke Biner <i>Demapping</i> .....	68
Gambar 4. 25 Hasil Dari <i>Decoder</i> . ....	68

Gambar 4. 26 Hasil Grafik SNR vs BER GFDM-OQAM dan GFDM-OQAM ZF.....	69
Gambar 4. 27 Hasil Grafik SNR vs BER GFDM-OQAM dan GFDM-OQAM MMSE. ....	71
Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan Nilai BER GFDM-OQAM ZF vs GFDM-OQAM MMSE. ....	72
Gambar 4. 29 Perbandingan Nilai BER GFDM-OQAM ZF Pada Variasi <i>Roll-off factor</i> . ....	73
Gambar 4. 30 Perbandingan Nilai BER GFDM-OQAM MMSE Pada Variasi <i>Roll-off factor</i> . ....	75
Gambar 4. 31 Hasil Grafik SNR vs SER GFDM-OQAM dan GFDM-OQAM ZF.....	76
Gambar 4. 32 Hasil Grafik SNR vs SER GFDM-OQAM dan GFDM-OQAM MMSE. ....	77
Gambar 4. 33 Grafik Perbandingan Nilai SER GFDM-OQAM ZF vs GFDM-OQAM MMSE. ....	78
Gambar 4. 34 Perbandingan Nilai SER GFDM-OQAM ZF Pada Variasi <i>Roll-off factor</i> . ....	80
Gambar 4. 35 Perbandingan Nilai SER GFDM-OQAM MMSE Pada Variasi <i>Roll-off factor</i> . ....	81

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1 Parameter Simulasi. ....</b>	<b>41</b>
<b>Tabel 3. 2 Pemetaan 16-QAM.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabel 4. 1 Perbandingan Nilai BER Pada GFDM-OQAM ZF vs GFDM-OQAM MMSE. ....</b>	<b>73</b>
<b>Tabel 4. 2 Nilai BER GFDM-OQAM ZF Pada Variasi <i>Roll-off factor</i>. ....</b>	<b>74</b>
<b>Tabel 4. 3 Nilai BER GFDM-OQAM MMSE Pada Variasi RoF. ....</b>	<b>75</b>
<b>Tabel 4. 4 Perbandingan Nilai SER Pada GFDM-OQAM ZF vs GFDM-OQAM MMSE. ....</b>	<b>79</b>
<b>Tabel 4. 5 Nilai SER GFDM-OQAM ZF Pada Variasi <i>Roll-off factor</i>.....</b>	<b>80</b>
<b>Tabel 4. 6 Nilai SER GFDM-OQAM MMSE Pada Variasi <i>Roll-off factor</i>... ..</b>	<b>82</b>