

# SIMULASI PERBANDINGAN KINERJA MODULASI M-PSK DAN M-QAM TERHADAP LAJU KESALAHAN DATA PADA SISTEM *ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING* (OFDM)

Aditya Ananta<sup>1)</sup>, Imam Santoso<sup>2)</sup>, Ajud Ajulian Zahra<sup>2)</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

## ABSTRACT

*OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is a transmission technique which uses some orthogonal subcarrier frequencies (multicarriers). Each of the subcarrier is modulated by conventional modulation technique at low symbol ratio. It can be a Phase Shift Keying (PSK) modulation and Quadrature Amplitude Modulation (QAM).*

*A simulation in this final project is made with Matlab 7.1. The purpose of the simulation is to analyze M-PSK and M-QAM modulation effects in OFDM system for AWGN channel, nonlinear distortion channel and also distortion clipping. OFDM system performance in AWGN channel is observed by analyzing Bit Error Rate (BER) values and Energy per Bit to Noise Power Spectral Density Ratio ( $E_b/N_0$ ) received by OFDM receiver by varying channel  $E_b/N_0$  value. Meanwhile, OFDM system performances in nonlinear distortion channel and also distortion clipping have additional parameter that is Input Back-off (IBO).*

*The results show that the lower modulation level the better system performance against noise. In AWGN channel, OFDM system with M-QAM modulation has better performance than M-PSK OFDM system. It can be known based on BER values of M-QAM OFDM system that reach zero value faster than M-PSK OFDM system. In nonlinear distortion channel, M-PSK OFDM system has better performance than M-QAM OFDM system, but after having distortion clipping M-QAM OFDM system has better performance than M-PSK OFDM system.*

**Keywords:** OFDM, M-PSK, M-QAM, BER,  $E_b/N_0$ , IBO

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan transmisi data pada komunikasi bergerak dibutuhkan sistem yang memiliki keunggulan - keunggulan dibandingkan dengan sistem yang sebelumnya atau dibandingkan dengan sistem yang sudah ada. Keunggulan – keunggulan itu bisa berupa efisiensi *bandwidth* yang lebih baik, *Bit Error Rate* (BER) yang rendah, kapasitas *user* yang banyak dan sebagainya.

Saat ini banyak terdapat teknik *Multiplexing* yang digunakan untuk mengefisienkan proses penransmisian data. *Multiplexing* dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan parameter yang di-multiplex-nya, salah satunya frekuensi yang disebut dengan FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Jika gelombang pembawa yang digunakan saling tegak lurus, maka disebut *Orthogonal FDM* (OFDM).

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui dan membandingkan pengaruh masing-masing modulasi digital M-PSK dan M-QAM yang disimulasikan terhadap kinerja sistem OFDM.
2. Mengamati nilai BER (*Bit Error Rate*) dan  $E_b/N_0$  pada penerima OFDM.
3. Menyajikan simulasi kinerja sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dengan menggunakan matlab 7.1.

### 1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan atau analisis tidak melebar dan terarah, maka permasalahan dibatasi pada :

1. Kanal yang digunakan adalah kanal AWGN dan kanal distorsi tanpa *delay*.
2. Modulasi digital yang digunakan adalah QPSK, 16 PSK, 64 PSK, 256 PSK, 4 QAM, 16 QAM, 64 QAM dan 256 QAM untuk simbol yang sama.
3. Sinyal masukan adalah data digital acak.

## II. LANDASAN TEORI

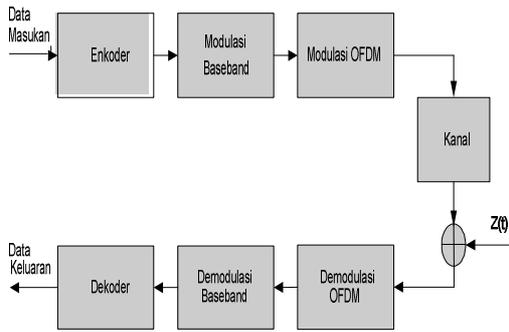
### 2.1 Sistem Modulasi OFDM

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian aliran data serial kecepatan tinggi ke dalam sejumlah aliran data paralel kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui sejumlah *subcarrier*. OFDM adalah sebuah teknik yang diterapkan kepada sinyal yang telah termodulasi, sebagai modulasi tingkat kedua. Caranya yaitu dengan membagi data secara paralel pada sejumlah subkanal pita sempit, lalu masing-masing data pada subkanal tersebut dimodulasikan dengan subfrekuensi pembawa yang saling *orthogonal*, selanjutnya ditransmisikan secara simultan. Proses yang dilakukan sama dengan teknik modulasi *multicarrier*, yang membedakan adalah penggunaan *subcarrier* yang saling *orthogonal* pada masing-masing subkanal.

1) Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

2) Dosen Teknik Elektro UNDIP

Sistem OFDM sederhana ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem OFDM sederhana [1]

Data masukan berupa data digital yang merupakan sumber informasi kemudian data masukan tersebut dinotasikan oleh pengkode menjadi bit biner. Modulator berfungsi untuk memodulasikan in-bit menjadi satu simbol disebut juga pengiriman *M*-ary. Biasanya modulasi yang digunakan adalah PSK (*Phase Shift Keying*) atau QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Hasil modulator *baseband* dimasukkan ke dalam OFDM modulator dimana simbol-simbol masukan dari *baseband* modulator akan diproses dengan menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT), kemudian hasil dari modulasi pada OFDM modulator akan dikirimkan ke dalam kanal. Pada penerima akan didemodulasikan dengan *Fast Fourier Transform* (FFT) kemudian dikirimkan ke *Baseband Demodulator* yang akan mengubah simbol-simbol menjadi digit biner. Pada decoder digit biner akan dinotasikan kembali menjadi data digital.

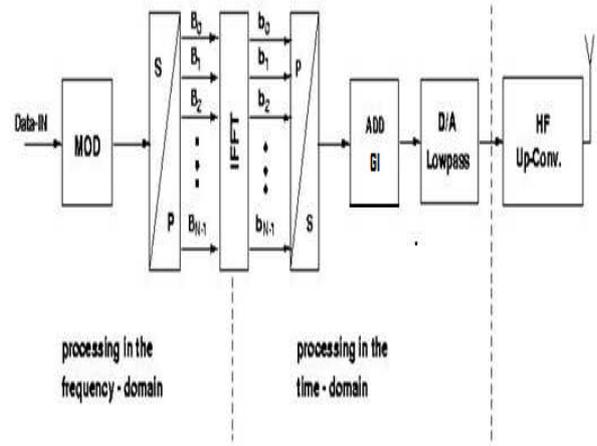
Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam beberapa kecepatan aliran rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui sejumlah subcarrier yang saling orthogonal. Sinyal yang ditransmisikan dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n \quad 0 \leq t \leq T \dots \dots \dots (1)$$

Untuk memodulasi *N* frekuensi pembawa bisa diselesaikan dengan menggunakan operasi IFFT (*Invers Fast Fourier Transform*) untuk blok simbol data *N*, hasil dari blok simbol data *N* ditransformasikan menjadi simbol OFDM. Pada keluaran modulasi, sinyal-sinyal pembawa akan ditambahkan dengan frekuensi dasar secara bersamaan sebelum ditransmisikan.

Masukan dari *baseband* modulator akan dimasukkan dalam pengubah serial ke paralel sehingga sinyal masukan tersebut menjadi bit-bit paralel yang tentunya kecepatannya akan lebih kecil dari pada kecepatan sinyal sebelumnya. Setelah sinyal tersebut dirubah dalam bentuk paralel, maka dalam modulator setiap sinyal akan mempunyai nilai real dan imajiner yang merupakan bagian in-phase dan quadrature sehingga dapat dikalikan dengan sinus atau kosinus dari frekuensi yang telah ditentukan untuk menghasilkan sinyal akhir dari OFDM.

## 2.2 Pemancar OFDM



Gambar 2. Pemancar OFDM [3]

Pemancar dalam sistem OFDM terdiri dari masukan, pemetaan, pengubah serial-paralel, *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT), dan pengubah paralel-serial.

Persamaan untuk IFFT adalah sebagai berikut.

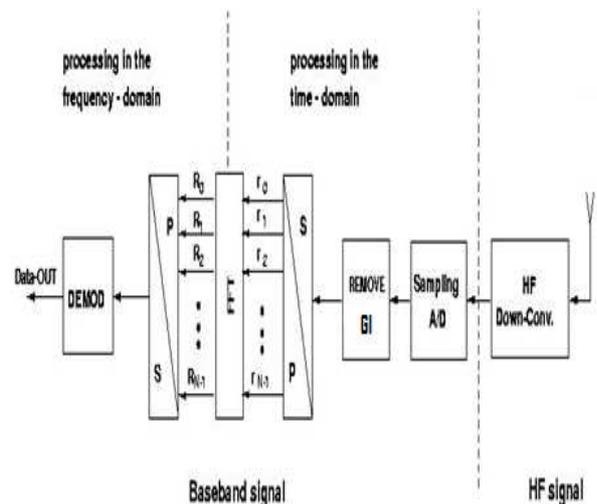
$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N/2} [X(k) + X(N/2 + k)] W_N^{kn} \dots \dots \dots (2)$$

untuk  $W_N^{kn} = e^{-j2\pi kn/N}$

Dengan *N* adalah jumlah subcarrier dan *n* adalah subcarrier ke-*n*.

Kemudian simbol-simbol OFDM yang masih dalam bentuk paralel akan diubah kembali menjadi bentuk serial pada blok *paralel to serial*. Sinyal tersebut akan diberi tambahan *guard interval* yang untuk mengurangi terjadinya ISI (*Intersymbol Interference*).

## 2.3 Penerima OFDM

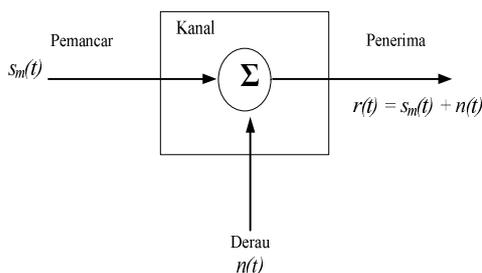


Gambar 3. Penerima OFDM [3]

Proses yang terjadi pada penerima adalah kebalikan dari proses yang dilakukan pada pemancar. *Receiver* akan membawa sinyal terima yang telah melalui kanal, lalu sinyal tersebut disampling dan dilakukan proses pelepasan *guard interval* sebelum diubah menjadi bentuk paralel.

FFT merupakan komponen yang paling utama pada bagian perencanaan demodulasi. Ketika lebih dari satu pembawa dimasukkan, FFT merupakan suatu metode praktis untuk memperbaiki data dari pembawa (*carrier*). FFT digunakan untuk merubah kembali ke ranah frekuensi.

## 2.4 Kanal AWGN



Gambar 4. Pemodelan Kanal AWGN [1]

Dalam komunikasi, kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) adalah suatu kanal dimana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari *white noise* dengan kerapatan spectrum yang konstan dan distribusi Gaussian dari sample noise. Kanal ini tidak melibatkan *fading*, *frequency selectivity*, *interference*. Persamaan matematis kanal AWGN dapat dituliskan:

$$r(t) = s_m(t) + n(t) \quad 0 \leq t \leq T \dots\dots\dots(3)$$

## 2.5 Kanal Distorsi

Salah satu komponen yang dapat menyebabkan terjadinya distorsi nonlinear pada sistem adalah *power amplifier* (PA). *Power amplifier* sendiri diwakili oleh fungsi amplitudo (AM/AM) dan fungsi fase (AM/PM).

*Power amplifier* akan menyebabkan distorsi nonlinear sehingga muncul interferensi antar *carrier* yang juga mengakibatkan interferensi antar simbol dan pelebaran spektrum, namun hal ini dapat dikurangi dengan cara menaikkan IBO (*Input Back-off*) yang merupakan perbandingan antara daya masukan saturasi dengan daya input rata-rata.

$$IBO = 10 \log \frac{P_{input\ saturasi}}{P_{input\ average}} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan sinyal keluaran dari *power amplifier* akan memiliki persamaan berikut :

$$U(t) = F_A[\rho(t)] e^{jF_P[\rho(t)]} e^{j\phi(t)} \dots\dots\dots(5)$$

$F_A[\cdot]$  adalah fungsi AM/AM dan  $F_P[\cdot]$  adalah fungsi AM/PM.

$$F_A[\cdot] = \begin{cases} \cdot & , \leq A_{saturation} \\ A_{saturation} & , > A_{saturation} \end{cases}$$

$$F_P[\cdot] = 0$$

dengan  $\cdot$  adalah amplitudo linear dan  $A_{saturation}$  adalah amplitudo saturasi.

*Clipping distortion* digunakan untuk membatasi distorsi yang dialami sinyal sehingga pengaruh nonlinearitas dapat dikurangi. Sinyal clipping didapatkan dari hasil pengurangan sinyal nonlinear dengan sinyal sebelum masuk ke PA yang telah dikali *clipping ratio*. Kemudian sinyal yang diterima oleh penerima OFDM merupakan hasil pengurangan sinyal yang telah mengalami distorsi nonlinear dan AWGN dengan sinyal clipping dibagi dengan *clipping ratio*. *Clipping ratio* didapatkan dari persamaan berikut :

$$Clipping\ ratio = 1 - \exp(-IBO^2) + \left( \frac{1}{\sqrt{\pi}} \right) \cdot IBO \cdot \frac{e^{-IBO^2}}{2} \dots\dots\dots(7)$$

## 2.6 Phase Shift Keying

*Phase shift keying* (PSK) adalah modulasi digital yang membawa data dengan merubah fase dari sinyal referensi (sinyal *carrier*). Pada modulasi PSK, tiap bit akan membentuk simbol yang diwakili oleh fase yang berbeda satu dengan lainnya.

Pada skema modulasi PSK, titik-titik konstelasi (*constellation points*) ditempatkan dengan jarak antar simbol yang seragam sepanjang lingkaran konstelasi.

Berikut ini merupakan beberapa jenis modulasi PSK:

1. *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)  
QPSK adalah teknik pengkodean *M-ary* dengan  $M=4$  (karenanya dinamakan “*quaternary*” yang berarti “4”). Dalam QPSK ada empat fase keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 10 dan 11.
2. 16- PSK  
16 PSK adalah teknik pengkodean PSK (*Phase Shift Keying*) dimana  $M=16$  sehingga pada 16 PSK ada 16 *phase* keluaran yang berbeda dengan jumlah bit sebanyak 4.
3. 64- PSK  
64 PSK adalah teknik pengkodean PSK (*Phase Shift Keying*) dengan  $M=64$  sehingga untuk masukan digital ke modulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 6.
4. 256- PSK  
256 PSK adalah teknik pengkodean PSK (*Phase Shift Keying*) dengan  $M=256$  sehingga untuk masukan digital ke modulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 8.

## 2.7 Quadrature Amplitude Modulation

*Quadrature amplitude modulation* (QAM) adalah skema modulasi yang membawa data dengan merubah amplitudo dan fase dari sinyal *carrier*.

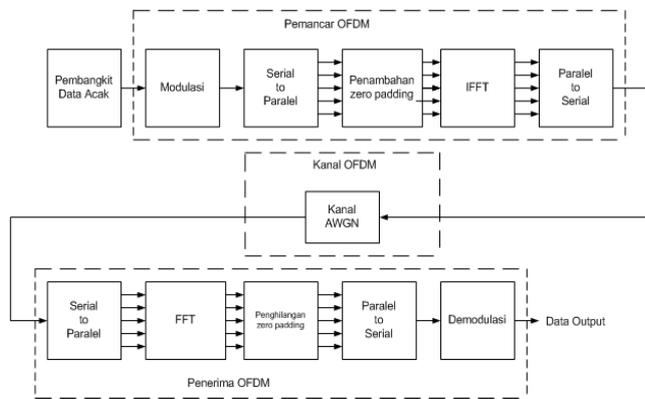
Sinyal yang dimodulasi akan menghasilkan sinyal modulasi yang merupakan kombinasi dari *phase shift keying* (PSK) dan *amplitude shift keying* (ASK).

Pada modulasi QAM, titik-titik konstelasi (*constellation points*) dibuat dalam bentuk kotak dengan jarak vertikal dan horizontal yang sama. Berikut ini merupakan beberapa jenis modulasi QAM :

1. 4-QAM  
4 QAM adalah teknik pengkodean *M-ary* dimana  $M=4$ . Seperti halnya QPSK, pada 4 QAM ada empat *phase* keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda, yaitu 00, 01, 10 dan 11.
2. 16-QAM  
Modulasi 16-QAM merupakan modulasi QAM yang menggunakan inputan 4 bit dengan 16 kondisi logika.
3. 64-QAM  
64-QAM adalah teknik pengkodean QAM dengan  $M=64$  sehingga untuk masukan digital ke modulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 6.
4. 256-QAM  
256-QAM adalah teknik pengkodean QAM dengan  $M=256$  sehingga untuk masukan digital ke modulator adalah sinyal dengan jumlah bit sebanyak 8.

### III. PERANCANGAN SIMULASI SISTEM OFDM

#### 3.1 Model Sistem OFDM Kanal AWGN



Gambar 5. Blok Pemodelan Simulasi OFDM Kanal AWGN

##### 3.1.1 Pembangkitan Data Acak

Pembangkitan data masukan dilakukan secara *random* atau acak. Data yang dibangkitkan merupakan hasil perkalian dari jumlah simbol, jumlah *carrier*, dan level bit pada modulasi yang digunakan baik untuk modulasi PSK maupun QAM.

##### 3.1.2 Modulasi

Sinyal acak yang telah dibangkitkan akan dimodulasi dengan menggunakan modulasi M-PSK dan M-QAM, namun sebelumnya harus dilakukan *mapping* menjadi konstelasi kanal I dan Q untuk menghasilkan

simbol 2 bit untuk dimodulasi.

##### 3.1.3 Serial ke Paralel

Sinyal acak yang telah dimodulasi baik dengan modulasi M-PSK maupun M-QAM selanjutnya diteruskan menuju blok serial ke paralel. Blok serial ke paralel berfungsi untuk mengubah aliran data yang terdiri dari satu baris menjadi beberapa baris dan beberapa kolom.

##### 3.1.4 Penambahan Zero Padding

Pada simulasi ditambahkan *zero padding* pada data inputan ke blok IFFT sesuai rasio sampling yang digunakan dengan tujuan untuk menambah durasi sinyal OFDM yang terbentuk.

##### 3.1.5 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

Blok IFFT pada sistem OFDM bertujuan untuk menghasilkan frekuensi *carrier* yang saling *orthogonal* dan mengubah dari domain frekuensi ke domain waktu.

##### 3.1.6 Paralel ke Serial

Sebelum memasuki kanal transmisi, simbol OFDM dalam bentuk *stream* paralel dikonversi ke bentuk *stream* serial sinyal *baseband* OFDM.

##### 3.1.7 Kanal Transmisi

Pemodelan kanal yang digunakan dalam program simulasi yang pertama adalah model kanal AWGN. Inputan yang digunakan adalah  $E_b/N_0$ , dan dirubah terlebih dahulu menjadi  $E_s/N_0$ .

##### 3.1.8 Serial ke Paralel

Blok ini merupakan blok penerima sistem OFDM, dimana sinyal yang telah melalui kanal transmisi dikonversi kembali dari bentuk serial ke bentuk paralel sehingga proses simbol-simbol yang diterima dapat diolah pada blok-blok operasi selanjutnya.

##### 3.1.9 Fast Fourier Transform (FFT)

Pada blok ini simbol-simbol OFDM akan dipisahkan dari frekuensi *carrier*-nya. Prosesnya juga merupakan proses kebalikan dari blok *Inverse Fast Fourier transform* (IFFT).

##### 3.1.10 Penghilangan Zero Padding

Pada blok ini simbol FFT yang masih memiliki komponen *zero padding* akan dipisahkan dengan *zero padding* agar didapatkan simbol-simbol hasil modulasi *baseband* untuk didemodulasi.

##### 3.1.11 Paralel ke Serial

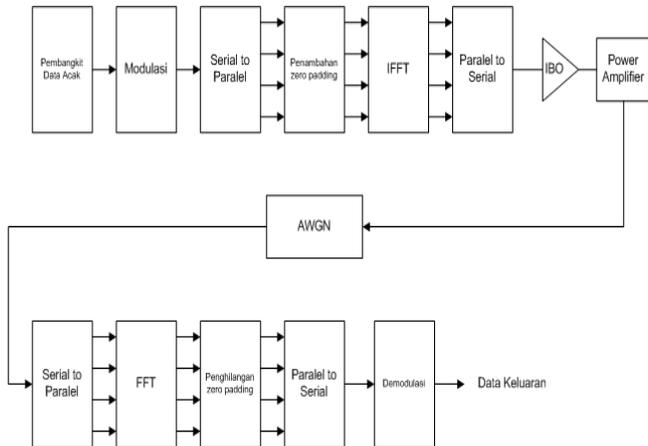
Pada blok ini, bit-bit informasi yang masih berupa matriks jumlah *carrier*  $\times$  jumlah simbol diubah kembali ke bentuk semula dengan cara dikonversi dari bentuk paralel ke bentuk serial.

### 3.1.12 Demodulasi

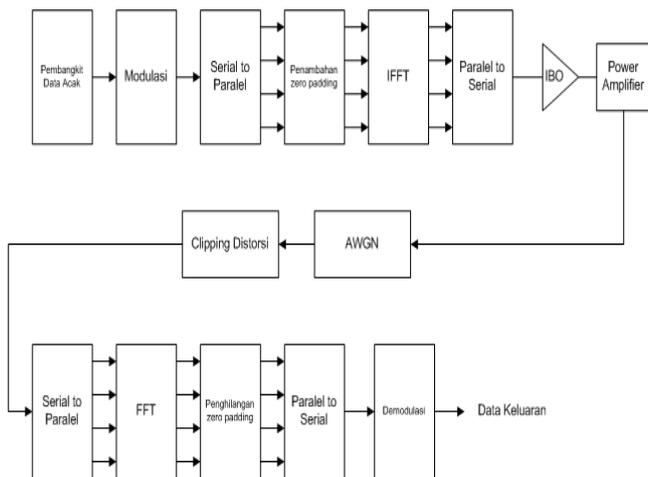
Setelah sinyal dirubah kembali menjadi bentuk serial, sinyal kemudian diubah kembali ke bentuk bit-bit informasi dengan melakukan proses demodulasi baik demodulasi M-PSK maupun M-QAM.

Pada sinyal yang telah didemodulasi tersebut, selanjutnya dilakukan proses *demapping* untuk mengembalikan simbol 2 bit menjadi data acak kembali.

### 3.2 Model Sistem OFDM Kanal Distorsi



Gambar 6. Blok Pemodelan Simulasi OFDM Kanal Distorsi Nonlinear



Gambar 7. Blok Pemodelan Simulasi OFDM Kanal Clipping Distorsi

Pada program simulasi ini akan digunakan kanal yang mengalami gangguan berupa gabungan distorsi nonlinear akibat *power amplifier*, AWGN, dan *clipping distortion*. Program ini terdiri dari dua sistem OFDM, yang pertama merupakan sistem OFDM dengan *power amplifier* dan kanal AWGN, sedangkan sistem yang kedua adalah sistem OFDM dengan *power amplifier* dan *clipping distortion*.

Untuk perancangan model sistem OFDM kanal distorsi menggunakan parameter yang sama dengan perancangan model sistem OFDM kanal AWGN, namun pada perancangan model sistem OFDM kanal distorsi memiliki parameter tambahan yaitu energi rata-rata simbol.

### 3.3 Parameter Sistem

Parameter sistem yang digunakan pada percobaan kinerja sistem OFDM dengan masukan data acak adalah:

Tabel 1. Parameter Sistem untuk Masukan Data Acak

Parameter	Nilai
Modulasi yang digunakan	QPSK, 16-PSK, 64-PSK, 256-PSK, 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
Jumlah simbol FFT	512, 1024, 2048, 4096
Jumlah <i>carrier</i>	32, 64, 128, 256
Jumlah Rasio Sampling	1, 2, 3, 4

Pada simulasi akan dibandingkan kinerja dari modulasi M-PSK dan M-QAM yang memiliki simbol yang sama dengan masukan berupa data acak dan menggunakan beberapa variasi parameter.

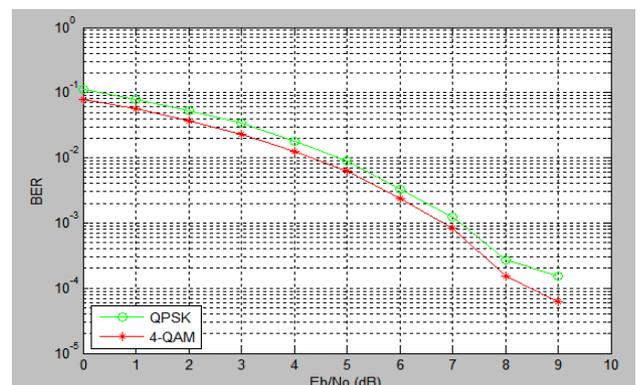
## IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

### 4.1 Pengujian dan Analisis Program Simulasi Sistem OFDM Kanal AWGN

#### 4.1.1 Simulasi Sistem OFDM Kanal AWGN dengan Membandingkan Modulasi QPSK dan 4-QAM

Pada simulasi dengan menggunakan modulasi QPSK dan 4-QAM, level bit modulasi yang digunakan adalah 2 sedangkan nilai  $E_b/N_0$  akan divariasi.

Berikut ini merupakan grafik nilai-nilai BER yang diperoleh dengan jumlah simbol 512, jumlah *carrier* 32, rasio sampling 1.



Gambar 8. Grafik BER vs  $E_b/N_0$  Kanal AWGN dengan Modulasi QPSK dan 4-QAM

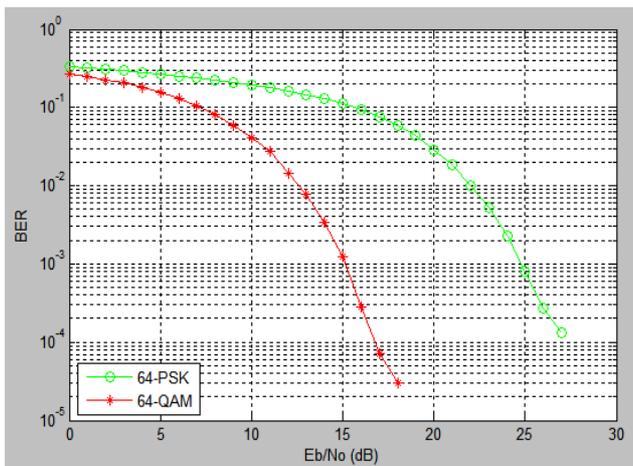
Dari simulasi menggunakan QPSK dan 4-QAM, tampak bahwa kinerja sistem menunjukkan nilai BER yang hampir sama. BER akan bernilai 0 ketika nilai  $E_b/N_0$  adalah 9 dB.

Pada dasarnya QPSK dan 4-QAM memiliki diagram konstelasi yang sama karena kedua modulasi tersebut memiliki simbol dengan beda fase yang sama untuk tiap simbol dimana masing-masing simbol memiliki beda fase  $90^\circ$ .

### 4.1.3 Simulasi Sistem OFDM Kanal AWGN dengan Membandingkan Modulasi 64-PSK dan 64-QAM

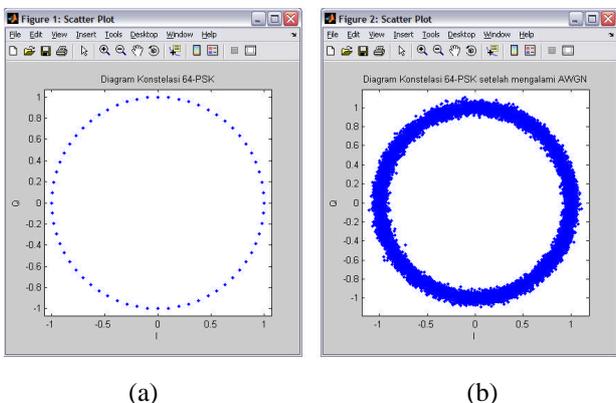
Pada simulasi dengan menggunakan modulasi 64-PSK dan 64-QAM, level bit modulasi yang digunakan adalah 6 sedangkan nilai  $E_b/N_0$  akan divariasikan.

Berikut ini merupakan grafik nilai-nilai BER yang diperoleh dengan jumlah simbol 512, jumlah *carrier* 32, rasio sampling 1.

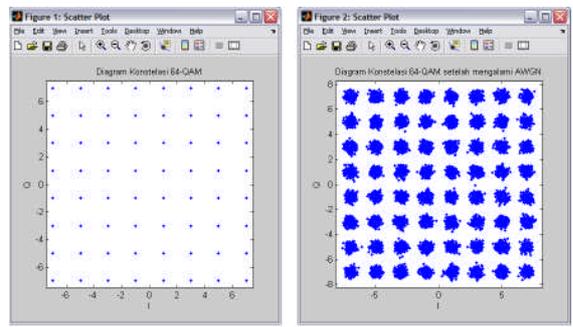


Gambar 9. Grafik BER vs  $E_b/N_0$  Kanal AWGN dengan Modulasi 64-PSK dan 64-QAM

Dari grafik kinerja sistem OFDM di atas dapat diketahui bahwa sistem OFDM dengan modulasi 64-QAM memiliki kinerja lebih baik dari sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 64-PSK karena nilai BER pada sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 64-QAM lebih cepat mencapai nilai 0 dibanding nilai BER pada sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 64-PSK, yaitu ketika nilai  $E_b/N_0 = 19$  dB.



Gambar 10. (a) Diagram Konstelasi 64-PSK Sebelum Melewati kanal AWGN  
(b) Diagram Konstelasi 64-PSK Setelah Melewati kanal AWGN dengan nilai  $E_b/N_0 = 19$  dB



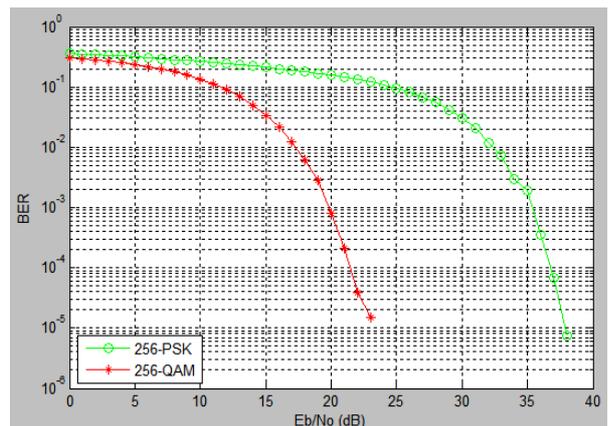
Gambar 11. (a) Diagram Konstelasi 64-QAM Sebelum Melewati kanal AWGN  
(b) Diagram Konstelasi 64-QAM Setelah Melewati kanal AWGN dengan nilai  $E_b/N_0 = 19$  dB

Secara keseluruhan, kinerja sistem OFDM menggunakan modulasi 64-QAM lebih baik dibandingkan kinerja sistem OFDM menggunakan modulasi 64-PSK, hal ini disebabkan karena titik-titik simbol modulasi 64-PSK memiliki jarak lebih dekat satu sama lain dibanding titik-titik simbol modulasi 64-QAM.

### 4.1.3 Simulasi Sistem OFDM Kanal AWGN dengan Membandingkan Modulasi 256-PSK dan 256-QAM

Pada simulasi dengan menggunakan modulasi 256-PSK dan 256-QAM, level bit modulasi yang digunakan adalah 8 sedangkan nilai  $E_b/N_0$  akan divariasikan.

Berikut ini merupakan grafik nilai-nilai BER yang diperoleh dengan jumlah simbol 512, jumlah *carrier* 32, rasio sampling 1.



Gambar 12. Grafik BER vs  $E_b/N_0$  Kanal AWGN dengan Modulasi 256-PSK dan 256-QAM

Dari grafik kinerja sistem OFDM di atas dapat diketahui bahwa sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 256-QAM memiliki kinerja lebih baik dari sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 256-PSK karena nilai BER pada sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 256-QAM lebih cepat mencapai nilai 0 dibanding nilai BER pada sistem

OFDM dengan menggunakan modulasi 256-PSK, yaitu ketika nilai  $E_b/N_0 = 23$  dB.

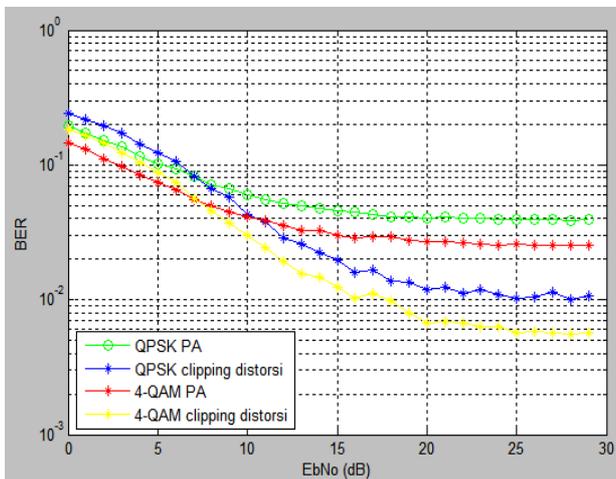
Secara keseluruhan, kinerja sistem OFDM menggunakan modulasi 256-QAM lebih baik dibandingkan kinerja sistem OFDM menggunakan modulasi 256-PSK, hal ini disebabkan karena titik-titik simbol modulasi 256-PSK memiliki jarak lebih dekat satu sama lain dibanding titik-titik simbol modulasi 256-QAM.

## 4.2 Pengujian dan Analisis Program Simulasi Sistem OFDM Kanal Distorsi

### 4.2.1 Simulasi Sistem OFDM Kanal Distorsi dengan Membandingkan Modulasi QPSK dan 4-QAM

Pada simulasi dengan menggunakan modulasi QPSK dan 4-QAM, level bit modulasi yang digunakan adalah 2 sedangkan nilai  $E_b/N_0$  akan divariasi.

Berikut ini merupakan grafik nilai-nilai BER yang diperoleh dengan jumlah simbol 512, jumlah *carrier* 32, rasio sampling 1, dan *Input Back-Off* 0,1 dB.



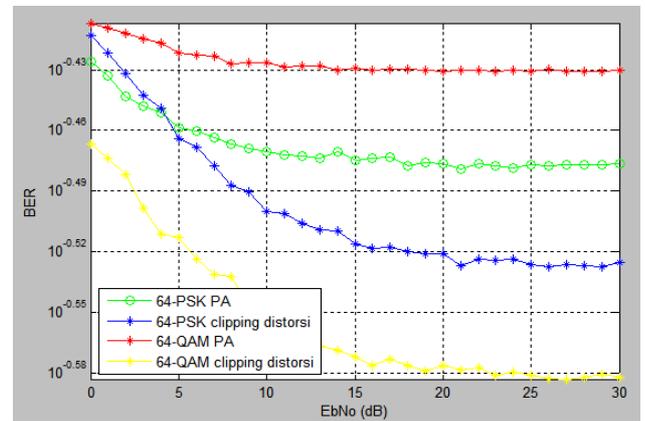
Gambar 13. Grafik BER vs  $E_b/N_0$  Kanal Distorsi dengan Modulasi QPSK dan 4-QAM dengan IBO = 0,1 dB

Dari simulasi dengan menggunakan QPSK dan 4-QAM di atas, tampak perbedaan pada BER yang dihasilkan. Ketika digunakan nilai IBO = 0,1 dB akan didapatkan nilai BER yang buruk untuk gangguan akibat distorsi nonlinear dan mengalami penurunan yang sedikit bahkan ketika nilai  $E_b/N_0 = 29$  dB. Demikian pula ketika telah dilakukan clipping distorsi, nilai BER memang mengalami penurunan namun belum mencapai nilai 0.

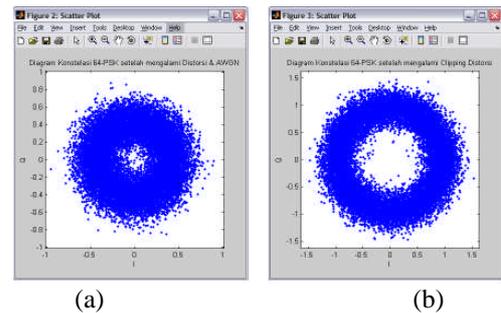
### 4.2.2 Simulasi Sistem OFDM Kanal Distorsi dengan Membandingkan Modulasi 64-PSK dan 64-QAM

Pada simulasi dengan menggunakan modulasi 64-PSK dan 64-QAM, level bit modulasi yang digunakan adalah 6 sedangkan nilai  $E_b/N_0$  akan divariasi.

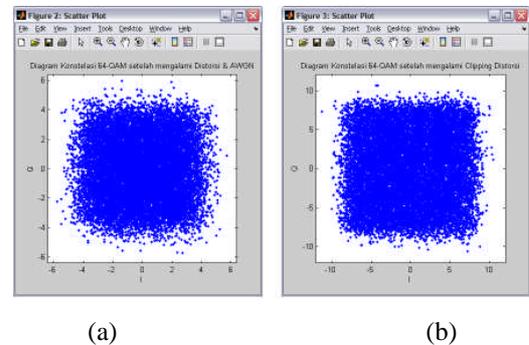
Berikut ini merupakan grafik nilai-nilai BER yang diperoleh dengan jumlah simbol 512, jumlah *carrier* 32, rasio sampling 1, dan *Input Back-Off* 0,5 dB.



Gambar 14. Grafik BER vs  $E_b/N_0$  Kanal Distorsi dengan Modulasi 64-PSK dan 64-QAM dengan dan IBO = 0,5 dB



Gambar 15. (a) Diagram Kontelasi 64-PSK Setelah Melewati kanal Distorsi Nonlinear dengan nilai IBO = 0,5 dB dan  $E_b/N_0 = 29$  dB  
(b) Diagram Kontelasi 64-PSK Setelah Mengalami Clipping Distorsi dengan nilai IBO = 0,5 dB dan  $E_b/N_0 = 29$  dB



Gambar 16. (a) Diagram Kontelasi 64-QAM Setelah Melewati kanal Distorsi Nonlinear dengan nilai IBO = 0,5 dB dan  $E_b/N_0 = 29$  dB  
(b) Diagram Kontelasi 64-QAM Setelah Mengalami Clipping Distorsi dengan nilai IBO = 0,5 dB dan  $E_b/N_0 = 29$  dB

Pada diagram konstelasi sistem OFDM setelah melewati kanal distorsi nonlinear dan kanal AWGN dengan nilai IBO = 0,5 dB dan  $E_b/N_0 = 29$  dB, masih susah untuk membedakan masing-masing simbol pada kedua modulasi tersebut karena masih *noise* dan interferensi antar simbol masih besar. Nilai BER sistem OFDM dengan 64-PSK adalah 0,33563 sedangkan nilai BER sistem OFDM dengan 64-QAM adalah 0,37053.

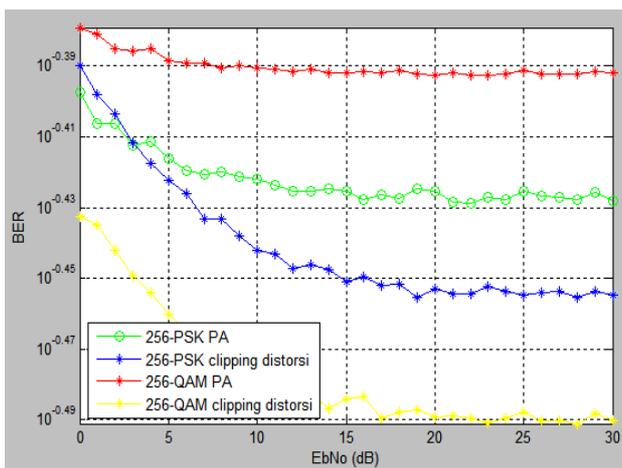
Diagram konstelasi kedua modulasi setelah mengalami clipping distorsi dengan nilai IBO = 0,5

dB dan  $E_b/N_0 = 29$  dB tampak bahwa distorsi dan *noise* yang dialami sinyal hasil modulasi 64-PSK dan 64-QAM lebih kecil daripada distorsi dan *noise* kedua diagram konstelasi modulasi tersebut ketika belum mengalami clipping distorsi Pada diagram konstelasi 64-QAM karena *noise* dan distorsi telah banyak berkurang karena proses clipping, sehingga nilai BER kinerja OFDM dengan modulasi 64-QAM menjadi lebih kecil dibanding nilai BER kinerja OFDM dengan modulasi 64-PSK dan 64-QAM sebelum mengalami clipping distorsi maupun nilai BER kinerja OFDM dengan modulasi 64-PSK setelah mengalami clipping distorsi. Nilai BER sistem OFDM dengan 64-PSK adalah 0,30106 sedangkan nilai BER sistem OFDM dengan 64-QAM adalah 0,25994.

#### 4.2.4 Simulasi Sistem OFDM Kanal Distorsi dengan Membandingkan Modulasi 256-PSK dan 256-QAM

Pada simulasi dengan menggunakan modulasi 256-PSK dan 256-QAM, level bit modulasi yang digunakan adalah 8 sedangkan nilai  $E_b/N_0$  akan divariasikan.

Berikut ini merupakan grafik nilai-nilai BER yang diperoleh dengan jumlah simbol 512, jumlah *carrier* 32, rasio sampling 1, dan *Input Back-Off* 0,5 dB.



Gambar 17. Grafik BER vs  $E_b/N_0$  Kanal Distorsi dengan Modulasi 256-PSK dan 256-QAM dengan dan IBO = 0,5 dB

Dari grafik kinerja sistem OFDM di atas dapat diketahui bahwa sistem OFDM pada kanal distorsi nonlinear-AWGN dengan menggunakan modulasi 256-PSK memiliki kinerja lebih baik dari sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 256-QAM karena nilai BER pada sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 16-PSK lebih kecil dibanding nilai BER pada sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 16-QAM. Sedangkan kinerja sistem OFDM setelah mengalami clipping distorsi dengan menggunakan modulasi 256-QAM memiliki kinerja lebih baik dari sistem OFDM dengan menggunakan modulasi 256-PSK.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Semakin tinggi level modulasi M-PSK, maka nilai BER yang dihasilkan akan semakin besar pula.

2. Simbol modulasi 4 (QPSK dan 4-QAM) merupakan teknik modulasi yang paling kebal terhadap derau, akan tetapi memiliki kapasitas data paling sedikit bila dibandingkan simbol modulasi 16, 64, 256.
3. Modulasi 256-PSK dan 256-QAM memiliki kapasitas data yang paling banyak akan tetapi sensitif terhadap derau.
4. Untuk kanal transmisi AWGN, nilai BER sistem OFDM dengan modulasi M-QAM lebih baik dari nilai BER sistem OFDM dengan modulasi M-PSK.
5. Untuk kanal transmisi distorsi dengan menggunakan *power amplifier*, nilai BER sistem OFDM dengan modulasi M-PSK lebih baik dari nilai BER sistem OFDM dengan modulasi M-QAM.
6. Setelah dilakukan clipping distorsi, nilai BER sistem OFDM dengan modulasi M-QAM menjadi lebih baik dari nilai BER sistem OFDM dengan modulasi M-PSK.

### 5.2 Saran

1. Dapat menggunakan model kanal yang lain untuk merepresentasikan kondisi kanal dengan berbagai gangguannya.
2. Dapat menggunakan inputan lain seperti suara maupun gambar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sarif, Yofie H, *Analisis Pengaruh Derau Terhadap Laju Kesalahan Data pada Sistem OFDM*, Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Undip, 2004.
- [2]. ---, *Mathematical description of OFDM*, <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/ofdm/ofdmmath.htm>, Mei 2009.
- [3]. ---, *Wireless multi-user OFDM systems*, [www-mobile.ecs.soton.ac.uk/comms/ofdm\\_system](http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/comms/ofdm_system), Juni 2009.
- [4]. Fadhila, Wike S, *Pengaruh Modulasi M-PSK pada Unjuk Kerja Sistem Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*, Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Undip, 2009.
- [5]. ---, *Phase Shift Keying*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Phase\\_shift\\_keying](http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_shift_keying), Mei 2009.
- [6]. Faizin, M. Reza, Winarno, Yus Octavian, *Makalah Modulasi Jenis-Jenis dan Karakteristiknya*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2008.
- [7]. Lawrey, Eric, *Adaptive Techniques for Multiusers OFDM*, PDF files, Mei 2009.

- [8]. ---, *Quadrature Amplitude Modulation*, [http://en.wikipedia.org/wiki/quadrature\\_amplitude\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/quadrature_amplitude_modulation), Mei 2009.
- [9]. ---, *Quadrature Amplitude Modulation*, <http://DSPDesignLine/208801783-1.htm>, Maret 2009.
- [10]. Wisnu O.P.S, *Simulasi Transmisi Sinyal Digital pada Kanal AWGN dan Rayleigh Fading*, PDF files, April 2009.
- [11]. Bantruni, Roy, *Curing Nonlinear Distortion*, PDF files, Mei 2009.
- [12]. ---, *Nonlinear Distortion*, <http://PlanetAnalog/showArticle.jhtml.htm>, Maret 2009.
- [13]. Rappaport, Theodore S., *Wireless Communications*, Prentice Hall, 1996.
- [14]. Karkhaneh, Amindavar Ghorbani, *Modeling and Compensating Memory Effect in High Power Amplifier for OFDM System*, PDF files, Mei 2009.
- [15]. ---, *Power Amplifier*, PDF files, Mei 2009.
- [16]. Steendam, Heidi, *Different Guard Interval Techniques for OFDM : Performance Comparison*, PDF files, Mei 2009.
- [17]. Harada, Hiroshi, Ramjee Prasad, *Simulation and Software Radio for Mobile Communication*, PDF file, April 2009.
- [18]. Dardari, Davide, Velio Tralli, Alessandro Vaccari, *A Theoretical Characterization of Nonlinear Distorsion Effect in OFDM System*, PDF file, April 2009.
- [19]. Sampei, Seiichi, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice Hall, 1997.
- [20]. Sklar, Bernard, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, 1988.
- [21]. Stallings, William, *Dasar-Dasar Komunikasi Data*, Salemba Teknika, 2001.



Aditya Ananta, lahir di Bandung tanggal 15 Juni 1988. Menempuh pendidikan dasar di SD I Hidayatullah Semarang lulus tahun 1999 dan melanjutkan ke SLTP N 21 Semarang sampai tahun 2002, kemudian melanjutkan ke SMU N 4 Semarang lulus tahun 2005. Dari tahun 2005 sampai saat ini masih menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, konsentrasi Elektronika Dan Telekomunikasi Semester VIII.

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Imam Santoso, ST, MT  
**NIP. 132 162 546**

Dosen Pembimbing II

Ajub Ajulian Zahra, ST, MT  
**NIP. 132 205 684**