

PENGARUH MODULASI M-PSK PADA UNJUK KERJA SISTEM ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)

Wike Septi Fadhila¹⁾, Imam Santoso, ST, MT²⁾; Ajud Ajulian Zahra, ST, MT²⁾
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstrak

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan suatu teknik transmisi yang menggunakan beberapa frekuensi subcarrier (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Masing-masing subcarrier tersebut dimodulasikan dengan teknik modulasi konvensional pada rasio simbol yang rendah. Modulasi ini bisa berupa modulasi Phase Shift Keying (PSK). Penggunaan modulasi PSK akan menghasilkan suatu sinyal dengan amplitudo konstan. Modulasi PSK dipilih karena kemampuannya untuk mengurangi fluktuasi amplitudo yang dapat mengakibatkan pelemahan.

Pada tugas akhir ini dibuat suatu simulasi dengan menggunakan Matlab. Tujuan pembuatan simulasi ini adalah untuk menganalisis pengaruh modulasi M-PSK pada kinerja sistem OFDM dengan kondisi kanal hanya diberi derau AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Parameter yang diubah adalah level modulasi M-PSK dengan masukan sistem berupa data acak digital, gambar grayscale dan suara. Unjuk kerja sistem OFDM diamati dengan melihat nilai Bit Error Rate (BER) serta nilai Signal to Noise Ratio (SNR) yang diperoleh pada penerima dengan memvariasikan nilai SNR kanal.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada pengiriman data acak dan suara, BPSK merupakan teknik modulasi yang paling kebal terhadap derau dibandingkan QPSK, 16PSK, dan 256PSK. Hal ini dilihat dari nilai BER BPSK yang lebih kecil dibandingkan ketiga modulasi lainnya. Nilai SNR yang diterima pada pengiriman gambar grayscale menunjukkan kualitas hasil yang diterima pada sisi penerima, hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi derau tinggi (SNR kanal <6dB), penggunaan dengan 256PSK lebih baik daripada BPSK, QPSK, maupun 16PSK.

Kata kunci: OFDM, PSK, BER, SNR

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 pentransmisi data. *Multiplexing* dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan parameter yang di-multiplex-nya, salah satunya frekuensi yang disebut dengan FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Jika frekuensi-frekuensi yang digunakan saling tegak lurus, maka disebut *Orthogonal FDM* (OFDM). OFDM memiliki suatu keunggulan sehingga banyak digunakan pada sistem telekomunikasi modern.

OFDM adalah teknik modulasi 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. OFDM memungkinkan pengiriman aliran data kecepatan tinggi dengan membaginya ke dalam aliran-aliran berkecepatan rendah. Proses yang dilakukan sama dengan teknik modulasi *multicarrier*, yang membedakan adalah penggunaan subpembawa yang saling *orthogonal* pada masing-masing subkanal.

1.2 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

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

1) Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

2) Dosen Teknik Elektro UNDIP

1.3 Batasan Masalah

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

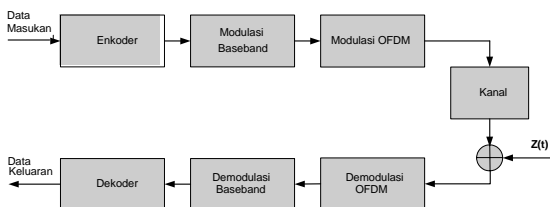
1. Model kanal yang dipergunakan adalah kanal AWGN tanpa ada delay multipath.
2. Modulasi digital yang digunakan adalah BPSK, QPSK, 16 PSK, dan 256 PSK.
3. Sinyal masukan adalah data digital acak, gambar *gray scale* dan suara.
4. Data gambar *gray scale* merupakan file .bmp
5. Data suara merupakan file .wav yang berukuran 8 bit dengan frekuensi sampel 11025 Hz

II. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Modulasi OFDM

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui suatu *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. OFDM memungkinkan pengiriman aliran data kecepatan tinggi dengan membaginya ke dalam aliran-aliran berkecepatan rendah. Proses yang dilakukan sama dengan teknik modulasi *multicarrier*, yang membedakan adalah penggunaan subpembawa yang saling *orthogonal* pada masing-masing subkanal. Sebuah sinyal OFDM terdiri dari sejumlah subcarrier kemudian dimodulasikan dengan menggunakan PSK (*Phase Shift Keying*) atau QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*).

Sistem OFDM sederhana ditunjukkan pada gambar 1



Gambar 1. Sistem OFDM sederhana [5]

Data masukan berupa data digital yang merupakan sumber informasi kemudian data masukan tersebut dinotasikan oleh pengkode menjadi rangkaian $m = m_1, m_2, m_3, \dots, m_j$, dimana setiap m_j mewakili digit biner (bit) yaitu satu (1) dan nol (0). Modulator berfungsi untuk memodulasikan in-bit menjadi satu simbol disebut juga pengiriman *M-ary*. Biasanya pada OFDM menggunakan QPSK atau QAM. 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, $z(t)$ adalah frekuensi dari *local oscillator* yang akan dibandingkan dengan frekuensi pembawa. 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. Dalam pengiriman data menggunakan *M-ary*, kecepatan pengiriman menjadi $\log_2 M$ baud, dengan satu baud adalah satu simbol perdetik, dengan demikian lebar pita yang diperlukan lebih kecil untuk pengiriman jumlah bit yang sama.

OFDM merupakan suatu teknik modulasi *multicarrier*, 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* dapat dilihat pada persamaan

$$\Phi_n(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{j\frac{2\pi n t}{T}} \Pi(t - \frac{T}{2}) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana $\Pi(t)$ merupakan rektanguler pulsa yang digambarkan $(-T/2, T/2)$ dalam interval waktu $[0, T]$. Dengan demikian sinyal yang ditransmisikan dapat dituliskan seperti pada persamaan

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{j\frac{2\pi n t}{T}} \quad 0 \leq t \leq T \dots\dots\dots(2)$$

Jika kita masukkan pembawa data simbol (disampel pada saat $t = k[N]$) maka persamaannya menjadi:

$$x_k = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{j\frac{2\pi n k}{N}} \dots\dots\dots(3)$$

Sebuah sinyal OFDM terdiri dari jumlah subcarrier kemudian dimodulasikan dengan menggunakan PSK (*Phase Shift Keying*) atau QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Untuk memodulasi N frekuensi pembawa bisa diselesaikan dengan menggunakan operasi FFT (*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. Jika merupakan simbol-simbol kompleks QPSK, N_s merupakan jumlah *subcarrier*, T adalah durasi simbol, dan f_c adalah frekuensi pembawa. Jika satu simbol OFDM mulai pada waktu $t-t_s$ dapat dituliskan seperti persamaan

$$S(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp \left(j2\pi \left(f_c - \frac{i+\frac{N_s}{2}}{T} \right) (t - t_s) \right) \right\} \quad t_s \leq t \leq t_s + T$$

.....(4)

$$S(t)=0, t < t_s \wedge t > t_s + T$$

Persamaan notasi *baseband* kompleks sering digunakan seperti pada persamaan

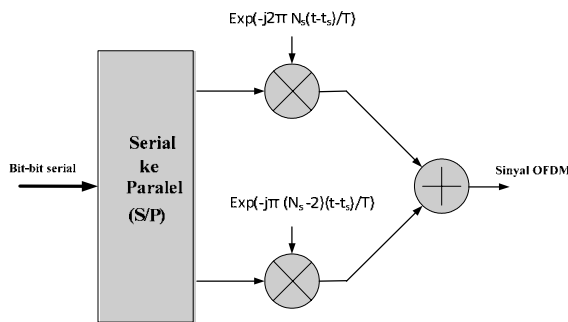
$$S(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp(j2\pi(t - t_s)) \right\}$$

$$t_s \leq t \leq t_s + T$$

.....(5)

$$S(t)=0, t < t_s \wedge t > t_s + T$$

Bagian real dan imajiner berhubungan dengan bagian inphase dan quadrature dari sinyal OFDM dapat dikalikan dengan *sinus* dan *cosinus* dari frekuensi yang ditentukan untuk menghasilkan sinyal akhir OFDM seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. Blok Diagram Modulator [5]

Masukan dari PSK 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 Phase Shift Keying

Dalam modulasi digital perbedaan antara frekuensi modulasi dengan fase modulasi cukup jelas, karena dalam modulasi digital sinyal informasi memiliki bentuk gelombang diskrit. Seperti dalam hal modulasi amplitudo dan modulasi frekuensi, kita memulai dengan sinyal *carrier* sinusoida yang memiliki bentuk dasar $\text{Acos}[\theta(t)]$. Dengan adanya proses modulasi pada fase gelombang *carrier* tersebut yaitu dengan sistem *phase shift keying* (PSK) nilai $\theta(t)$ adalah $2\pi f_c + \phi(t)$. Dalam hal ini nilai $\phi(t)$ memberikan pengertian bahwa fase dari gelombang tersebut termodulasi dan mengandung informasi sesuai dengan input dari sinyal *baseband* pemodulasinya. Berikut ini merupakan beberapa jenis modulasi PSK:

1. Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Dalam *binary phase shift keying* (BPSK), dua keluaran fase yang mungkin akan keluar dan membawa informasi (“*binary*” dimaksudkan disini “2”). Satu fase keluaran (0° misalnya) mewakili suatu logic 1 dan yang lainnya (misalnya 180°) logic 0. Sesuai dengan perubahan keadaan sinyal masukan digital, fase pada keluaran *carrier* bergeser diantara dua sudut yang keduanya terpisah 180° (180° out of phase). Nama lain untuk BPSK adalah *phase reversal keying* (PRK) dan *biphase modulation*.

Tabel 1 Tabel Kebenaran BPSK

Masukan Biner	Fasa keluaran
Logika 0	180°
Logika 1	0°

2. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK atau *quadrature-PSK* adalah bentuk lain dari modulasi digital selubung konstan termodulasi sudut. QPSK adalah teknik pengkodean *M-ary* dimana $M=4$ (karenanya dinamakan “*quaternary*” yang berarti “4”). *M-ary* adalah suatu bentuk turunan dari kata “*binary*”. M berarti digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin. Dalam QPSK ada empat phase keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda. Karena masukan digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner (dasar 2), maka

untuk menghasilkan empat kondisi masukan yang berbeda harus dipakai bit masukan lebih dari satu bit tunggal. Menggunakan 2 bit, ada empat kondisi yang mungkin: 00, 01, 10 dan 11. Karena itu dalam QPSK data masukan biner dikelompokkan dalam group yang terdiri dari 2 bit yang disebut dibit. Setiap kode dibit membangkitkan salah satu dari phase keluaran yang mungkin. Oleh karena itu setiap dibit 2-bit masuk ke dalam modulator, terjadi satu perubahan keluaran. Karenanya, kecepatan perubahan keluaran (kecepatan *baud*) adalah setengah kecepatan bit masukan.

Tabel 2. Tabel kebenaran QPSK

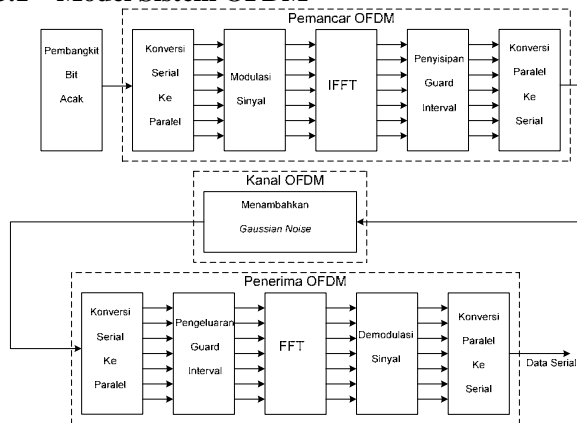
Masukan Biner		Keluaran Fasa QPSK
Q	I	
0	0	-135^0
0	1	-45^0
1	0	$+135^0$
1	1	$+45^0$

3. M-ary PSK

M-ary PSK merupakan sebuah teknik *encoding M-ary* dimana M dapat bernilai 4,8,16,32,64,128,256, dan seterusnya. Dengan modulator *M-PSK*, akan menghasilkan M keluaran *phase* yang berbeda. Untuk mendapatkan M perbedaan phase yang berbeda, maka sinyal masukan yang akan dikirim harus dibagi menjadi grup-grup yang terdiri dari n bit ($M=2^n$).

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK

3.1 Model Sistem OFDM



mbar 3. Blok pemodelan simulasi

3.1.1 Pembangkitan Data Informasi

Pembangkitan data informasi dilakukan secara random atau acak. Data yang dibangkitkan nilainya sesuai dengan level modulasi yang digunakan. Untuk BPSK nilai bitnya 0 dan 1, QPSK nilai bitnya 0-3, 16-PSK nilai bitnya 0-15, sedangkan 256-PSK nilainya adalah 0-255. Data acak tersebut berupa vektor baris tunggal.

3.1.2 Konversi Serial ke Paralel

Data serial tadi kemudian diubah ke dalam ukuran simbol yang dibutuhkan dalam transmisi, sebagai contoh 2 bit per simbol untuk QPSK, sebelum akhirnya masuk ke dalam Blok serial ke paralel. Blok serial ke paralel berfungsi untuk mengubah aliran data yang terdiri dari satu baris menjadi beberapa baris dan beberapa kolom. Hasil dari konversi serial ke paralel berupa matriks bit-bit dengan jumlah baris menyatakan jumlah *subcarrier* yang akan digunakan dan jumlah kolom menyatakan jumlah simbol data yang dikirimkan pada tiap *subcarrier*.

3.1.3 Modulasi Sinyal

Setelah melalui *serial to paralel*, maka sinyal akan memasuki blok modulasi. Pada blok ini sinyal yang akan ditransmisikan diberi fasa referensi, disandi-differensialkan terhadap simbol awalnya kemudian dipetakan sesuai dengan jenis modulasi yang digunakan. Pada simulasi ini jenis modulasi yang digunakan adalah BPSK, QPSK, 16-PSK, dan 256-PSK.

3.1.4 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

Blok IFFT pada sistem OFDM bertujuan untuk membangkitkan frekuensi *subcarrier* yang saling *orthogonal* dan mengubah dari domain frekuensi ke domain waktu. Jumlah titik IFFT yang digunakan dalam simulasi harus dua kali lebih besar jumlah *subcarrier* yang digunakan

3.1.5 Penyisipan Guard Interval (GI)

Pada simulasi ini *Guard Interval* yang digunakan bertipe *Cyclic Prefix*. Panjang *Cyclic Prefix* yang digunakan adalah hasil penjumlahan dari banyaknya titik IFFT dan *guardtime* pada simulasi yang kemudian ditempatkan di depan simbol. Tujuan penyisipan *Guard Interval* ini adalah mencegah ISI dan ICI sehingga simulasi dapat berjalan dengan baik.

3.1.6 Konversi 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 simulasi ini adalah model kanal AWGN.

Jika SNR lebih dari 300dB, dalam kanal tidak dapat dibangkitkan *noise*.

3.1.8 Konversi Serial ke Paralel

Pada blok ini sinyal yang telah melalui kanal transmisi dikonversi kembali dari *stream* serial ke bentuk paralel sehingga proses simbol-simbol yang diterima dapat diolah pada blok-blok operasi selanjutnya.

3.1.9 Pengeluaran Guard Interval (GI)

Pada blok ini simbol yang telah disisipkan *Cyclic Prefix* pada blok penyisipan *Guard Interval* dibuang kembali sehingga akan diperoleh simbol asli yang sesuai dengan pengiriman semula. Operasi pada blok ini merupakan kebalikan dari proses penyisipan *Guard Interval* pada blok sistem pengiriman. Langkah-langkah operasinya berupa pengeluaran *Cyclic Prefix* pada awal simbol yang diterima.

3.1.10 Fast Fourier Transform (FFT)

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

3.1.11 Demodulasi Sinyal

Sinyal kemudian diubah kembali ke bentuk bit-bit informasi dengan melakukan proses demodulasi (juga merupakan kebalikan dari proses modulasi di blok sistem pengiriman).

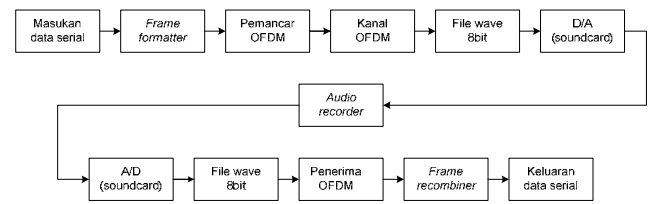
3.1.12 Konversi Paralel ke Serial

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

3.2 Pengembangan Model Simulasi OFDM

Model dasar OFDM yang digunakan dalam simulasi kemudian dikembangkan dengan menambah *frame formatter* dan *frame recombiner* ke dalam sistem. Hal ini bertujuan agar data dengan ukuran yang lebih besar (suara dan gambar) dapat ditransmisikan. Di bawah ini merupakan skema

model OFDM yang telah dikembangkan.



Gambar 4. Pengembangan Model OFDM

Model OFDM ini memanfaatkan *soundcard* merekam sinyal yang diterima. Simulasi ini hanya menggunakan satu *Personal Computer* (PC) sehingga transmisi dilakukan dalam dua langkah. Pertama, sinyal yang ditransmisikan dibangkitkan dengan menggunakan Matlab kemudian langkah kedua adalah mengaktifkan *soundcard* dan merekam sinyal yang diterima ke dalam *audio recorder*.

Untuk masukan berupa gambar menggunakan model OFDM yang sama akan tetapi sinyal tidak direkam dalam kanal audio eksternal.

3.3 Parameter Sistem

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

Tabel 3. Parameter Sistem untuk Masukan Data Acak dan Suara

Parameter	Nilai
Modulasi <i>carrier</i> yang digunakan	DBPSK, DQPSK, D-16PSK, D-256PSK
Jumlah titik FFT	2048
Jumlah <i>carrier</i> yang digunakan	800
Tipe <i>Guard Period</i>	<i>Cyclic prefix</i>
Jumlah <i>Guard time</i>	512, 25% dari jumlah titik FFT

Parameter sistem untuk masukan gambar adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Parameter Sistem untuk Masukan Gambar.

Parameter	Nilai
Modulasi <i>carrier</i> yang digunakan	DBPSK, DQPSK, D-16PSK, D-256PSK
Jumlah titik FFT	4096
Jumlah <i>carrier</i> yang digunakan	1600
Tipe <i>Guard Period</i>	<i>Cyclic prefix</i>
Jumlah <i>Guard time</i>	1024, 25% dari jumlah titik FFT

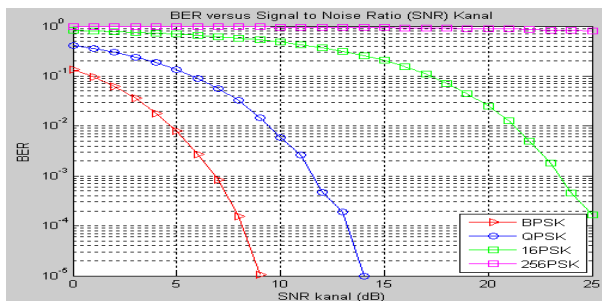
Keempat metode modulasi *carrier* tersebut akan dibandingkan kinerjanya. Pada pembahasan metode modulasi yang digunakan akan ditunjukkan sebagai BPSK, QPSK, 16-PSK, 256-PSK karena penyandian differensial (*differential encoding*) dianggap sebagai bagian yang sudah menyatu dalam transmisi OFDM.

IV. ANALISIS HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Modulasi M-PSK untuk Masukan Data Acak

Jumlah data yang dibangkitkan adalah 12000 byte, data-data tersebut kemudian ditransmisikan oleh pemancar OFDM, kemudian pada akhirnya diterima oleh penerima OFDM. Pada penerima jumlah bit galat akan dibandingkan dengan jumlah bit yang ditransmisikan sehingga diperoleh nilai BER.

Berikut ini merupakan grafik nilai-nilai BER yang diperoleh dari penggunaan modulasi yang berbeda saat SNR kanal bernilai 0-25dB.



Gambar 5. Grafik BER vs SNR Kanal Masukan Data Acak

Grafik diatas menunjukkan bahwa transmisi OFDM menggunakan QPSK baik digunakan saat nilai SNR kanal lebih dari 12dB. Nilai BER pada

penggunaan QPSK semakin memburuk saat nilai SNR kurang dari 6dB. Saat derau dalam kanal tinggi performansi BPSK adalah yang paling baik dibandingkan ketiga modulasi yang lain. Akan tetapi BPSK memiliki kapasitas terbatas, sehingga lebih tidak menghemat *bandwidth* bila dibandingkan ketiga modulasi yang lain. Penggunaan BPSK pada transmisi OFDM dapat mentoleransi SNR pada kanal lebih dari 6dB. Saat kanal dalam kondisi derau rendah, penggunaan 16PSK dapat meningkatkan kapasitas data. Jika SNR bernilai lebih dari 25dB 16PSK dapat digunakan, modulasi ini mampu menggandakan kapasitas data dua kali QPSK. Nilai BER yang dihasilkan dari penggunaan 256PSK adalah yang paling tinggi bila dibandingkan modulasi yang lain, akan tapi dari segi kapasitas, 256PSK memiliki kapasitas data yang lebih banyak.

Rata-rata waktu pentransmision data acak, disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 5. Total waktu transmisi data acak

Modulasi	Total Waktu Transmisi (sekon)
BPSK	0.8929
QPSK	0.6497
16PSK	0.5681
256PSK	0.5187

Dari tabel 5 dapat dilihat bahwa waktu transmisi tercepat adalah 256PSK. Ini berarti bahwa semakin tinggi level modulasi yang digunakan, total waktu yang dibutuhkan untuk transmisi data semakin sedikit.

4.2 Analisis Modulasi M-PSK untuk Masukan Gambar *Grayscale*

Analisis modulasi M-PSK untuk masukan gambar *grayscale* ini lebih ditekankan pada kualitas gambar yang diterima pada penerima OFDM. Gambar yang ditransmisikan adalah gambar *grayscale* lena.bmp berukuran 256x256 pixel yang dapat dilihat pada gambar 6 berikut :



Gambar 6. Gambar lena.bmp

Setelah ditransmisikan maka gambar yang diperoleh pada penerima OFDM pada saat SNR kanal 0 dB adalah sebagai berikut:

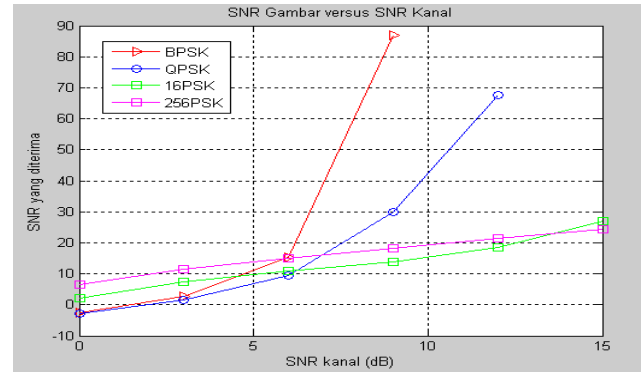
BPSK	QPSK dengan 2 kali Perulangan
16PSK dengan 4 kali Perulangan	256PSK dengan 8 kali Perulangan

Berikut ini merupakan nilai-nilai SNR yang diterima, yang diperoleh dari penggunaan modulasi yang berbeda saat SNR kanal bernilai 0-15dB dengan kenaikan setiap 3dB.

Tabel 6. Nilai BER untuk masukan data gambar lena.bmp

SNR kanal (dB)	SNR yang diterima (dB)			
	BPSK	QPSK	16PSK	256PSK
0	-2.68873	-2.69397	2.14197	6.59591
3	2.6138	1.49198	7.39895	11.4257
6	15.1686	9.51353	10.9348	15.0733
9	86.9214	29.8333	13.84	18.2554
12	inf	67.6997	18.3807	21.4222
15	inf	inf	26.9664	24.4452

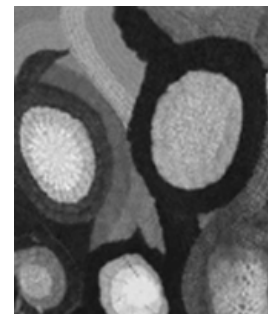
Keterangan: inf = *infinite* (tak berhingga)



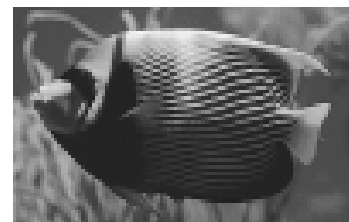
Gambar 7. Grafik SNR yang diterima terhadap SNR kanal

Grafik di atas menunjukkan bahwa pada saat derau kanal tinggi (0-6dB), SNR yang diperoleh 256PSK adalah yang paling tinggi, hal ini menunjukkan bahwa kualitas gambar 256PSK paling bagus, sebaliknya QPSK memiliki nilai SNR paling rendah. SNR yang diterima BPSK menjadi lebih tinggi dibandingkan ketiga modulasi yang lain saat SNR kanal lebih dari 6dB. SNR yang diterima oleh QPSK menjadi lebih tinggi dari 16PSK dan 256PSK saat SNR kanal lebih dari 6-7dB dan SNR yang diterima oleh 16PSK menjadi lebih tinggi dari 256PSK saat SNR kanal lebih dari 14dB. Nilai SNR demodulasi gambar bisa jadi lebih tinggi daripada SNR kanal, hal ini disebabkan karena galat fasa kecil yang kurang cukup besar untuk menyebabkan galat bit sehingga tidak terlihat adanya derau pada sinyal yang diterima

Sebagai perbandingan ditransmisikan juga dua gambar yaitu gambar fish.bmp (100x64) dan tes3.bmp (170x201).



Gambar 8. Gambar tes3.bmp

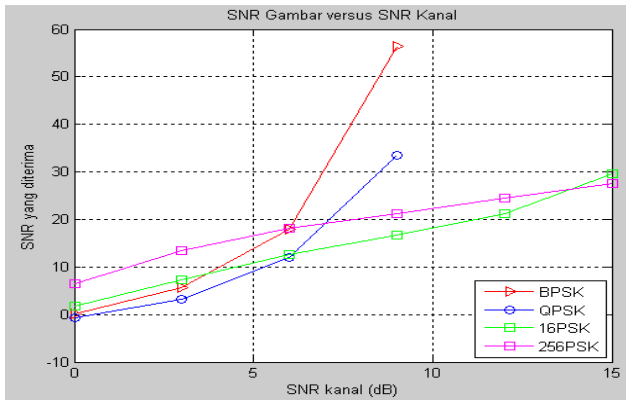


Gambar 9. Gambar fish.bmp

Hasil yang diperoleh diperlihatkan pada tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 7. Nilai BER untuk masukan data gambar tes3.bmp

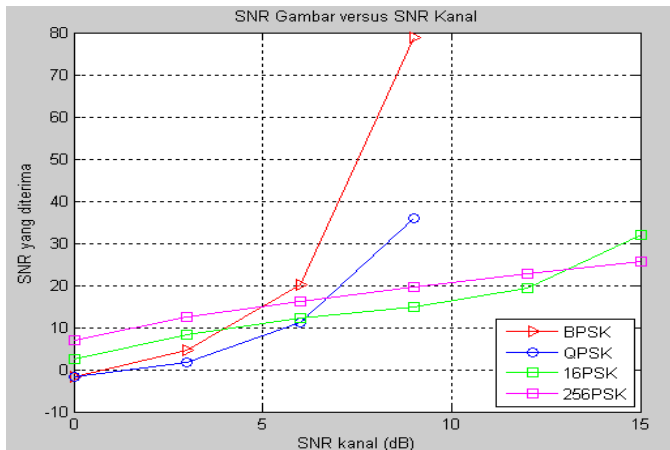
SNR kanal (dB)	SNR yang diterima (dB)			
	BPSK	QPSK	16PSK	256PSK
0	0.158503	-0.665349	1.84144	6.47337
3	5.57384	3.22158	7.33583	13.426
6	17.8912	11.9027	12.5361	18.0453
9	56.4637	33.392	16.7724	21.2875
12	inf	inf	21.2704	24.4185
15	inf	inf	29.688	27.4608



Gambar 10. Grafik tes3.bmp

Tabel 8. Nilai BER untuk masukan data gambar fish.bmp

SNR kanal (dB)	SNR yang diterima (dB)			
	BPSK	QPSK	16PSK	256PSK
0	-1.62416	-1.72787	2.39758	6.94875
3	4.6371	1.83161	8.23099	12.3973
6	20.1633	11.2822	12.1664	16.2128
9	78.7265	35.9132	14.8496	19.549
12	inf	inf	19.4467	22.7983
15	inf	inf	31.8554	25.6382

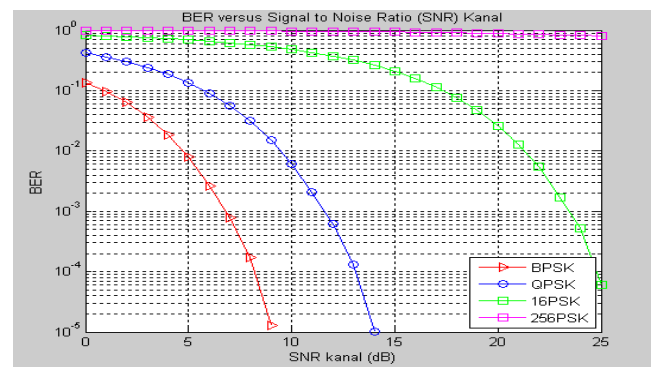


Gambar 11. Grafik fish.bmp

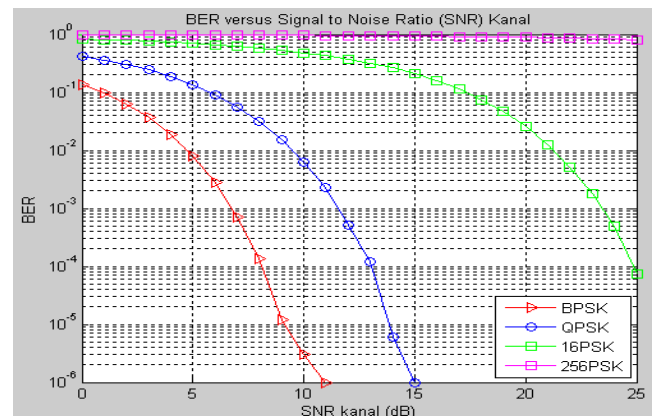
Dari beberapa pentransmision gambar grayscale terlihat bahwa pada saat derau kanal tinggi maka kualitas gambar yang paling baik diperoleh dengan menggunakan modulasi 256PSK,

4.3 Analisis Modulasi M-PSK untuk Masukan Suara

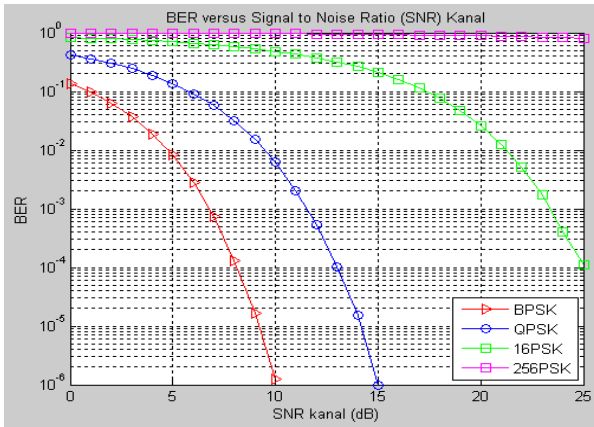
Suara yang ditransmisikan merupakan file LP1.wav berdurasi 4.42 detik, sebagai perbandingan ditransmisikan juga UB.wav berdurasi 7.42 detik, imyours.wav berdurasi 9.01 detik dengan frekuensi sampel 11025kHz, dan jumlah bit tiap sampelnya adalah 8bit. Dari pengukuran diperoleh grafik nilai BER sebagai berikut :



Gambar 12. Grafik BER vs SNR kanal untuk masukan LP1.wav



Gambar 13. Grafik BER vs SNR kanal untuk masukan UB.wav



Gambar 14. Grafik BER vs SNR kanal untuk masukan imyours.wav

Nilai BER yang diperoleh untuk masukan suara hampir sama dengan nilai BER pada masukan data acak. Dari ketiga grafik dapat dilihat bahwa BPSK adalah metode modulasi yang paling kebal terhadap derau, sebaliknya 256PSK merupakan metode modulasi yang paling sensitif terhadap derau. Namun untuk kapasitas data 256PSK jauh lebih besar bila dibandingkan BPSK. Saat SNR kanal lebih dari 12dB, penggunaan QPSK baik digunakan untuk menggantikan BPSK karena meningkatkan kapasitas data dua kali lebih banyak daripada BPSK. Saat SNR kanal lebih dari 25dB, penggunaan 16PSK lebih disarankan karena kapasitas datanya dapat ditingkatkan dua kali lebih banyak dari QPSK.

BPSK merupakan metode yang paling tahan (kebal) terhadap derau, hal ini disebabkan karena galat fasa maksimum yang diperbolehkan adalah 90°, sehingga kemungkinan selisih fasa yang diterima dapat diwasandikan dengan benar oleh demodulator BPSK tinggi. Sedangkan untuk 256PSK, galat fasa maksimum yang diperbolehkan hanya 0.70313°, hal ini menyebabkan kemungkinan bit yang salah diwasandikan oleh demodulator semakin besar.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Semakin tinggi level modulasi M-PSK, maka galat fasa maksimum sinyal akan semakin kecil, hal ini berpengaruh pada peningkatan nilai BER pada kinerja sistem OFDM.
2. Teknik modulasi BPSK merupakan teknik modulasi yang paling kebal terhadap derau, akan tetapi memiliki kapasitas data paling sedikit bila dibandingkan teknik modulasi QPSK, 16PSK maupun 256PSK.
3. Teknik modulasi 256PSK memiliki kapasitas data yang paling banyak akan tetapi sensitif terhadap derau.

4. Saat transmisi gambar *grayscale* (lena.bmp, tes3.bmp, dan fish.bmp) pada kondisi kanal dengan tingkat derau tinggi (SNR kanal kurang dari 6dB), kualitas gambar yang dihasilkan oleh 256PSK paling baik dibandingkan BPSK, QPSK, maupun 16PSK.
5. Saat transmisi gambar *grayscale* (lena.bmp, tes3.bmp, dan fish.bmp) pada kondisi kanal dengan tingkat derau rendah, kualitas gambar yang dihasilkan oleh BPSK, QPSK, maupun 16PSK lebih baik daripada 256PSK.
6. Semakin tinggi level modulasi M-PSK, maka sinyal yang dikirim akan lebih cepat sampai pada penerima dengan kata lain waktu yang dibutuhkan untuk pentransmisi data semakin sedikit.

5.2 Saran

1. Dapat menggunakan model kanal yang lain untuk merepresentasikan kondisi kanal dengan berbagai gangguannya.
2. Dapat menggunakan teknik modulasi yang lain sebagai perbandingan dengan penggunaan teknik modulasi M-PSK.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Faizin, M. Reza, Winarno, Yus Octavian, *Makalah Modulasi Jenis-Jenis dan Karakteristiknya*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2008
- [2]. Lawrey, Eric, *COFDM as a Modulation Technique for Wireless Telecommunications, with a CDMA Comparison*, Oktober 1997
- [3]. Puspito, Sigit, *Mengenal Teknologi Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless*, Elektro Indonesia Nomor 24 Tahun V, 1999.
- [4]. Sampei, Seiichi, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice Hall, 1997.
- [5]. Sarif, Yofie H, *Analisis Pengaruh Derau Terhadap Laju Kesalahan Data pada Sistem OFDM*, Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Undip, 2004.
- [6]. Sklar, Bernard, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, 1988.
- [7]. Stallings, William, *Dasar-Dasar Komunikasi Data*, Salemba Teknika, 2001.
- [8]. Sibin, Wu, *Channel Estimation in OFDM System*, PPT files, Juni 2008.
- [9]. ---, *Phase Shift Keying*, http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_shift_keying, Oktober 2008.
- [10]. ---, *Signal to Noise Ratio*, http://en.wikipedia.org/wiki/Signal_to_noise_ratio, Januari 2009.



WIKE SEPTI FADHILA
(L2F004524)

Dilahirkan di Temanggung, 22 September 1986. Menempuh pendidikan dasar di SDN Parakan Kauman I lulus tahun 1998 dan melanjutkan ke SLTPN 2 Temanggung sampai tahun 2001 kemudian dilanjutkan lagi di SMUN 1 Temanggung lulus tahun 2004. Dari tahun 2004 sampai saat ini masih menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, konsentrasi Elektronika Dan Telekomunikasi Semester IX.

Mengetahui / Mengesahkan :

Dosen Pembimbing I

Imam Santoso, ST, MT
NIP . 132 162 546

Dosen Pembimbing II

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