

Pengaruh Modulasi M-Psk Pada Unjuk Kerja Sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ofdm)*

**Ajub Ajulian Zahra
Imam Santoso
Wike Septi Fadhila**

Abstract: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) is a transmission technique which uses some orthogonal subcarrier frequencies (multicarrier). Each of the subcarrier is modulated by conventional modulation technique at low symbol ratio. It can be a PSK (Phase Shift Keying) modulation. PSK modulation is chosen as its simplicity and ability to reduce amplitude fluctuation which could leads to attenuation.

A simulation with Matlab is made in this final project. The purpose of this simulations is to analyze M-PSK modulation effect on OFDM system performance under AWGN (Additive White Gaussian Noise) noisy channel condition. System parameter that being changed is modulation level of PSK with system inputs consist of random data, grayscale images, and sounds. OFDM system performance is observed by analyzing Bit Error Rate (BER) values and Signal to Noise Ratio (SNR) received by OFDM receiver by varying channel SNR value.

The results show that in grayscale pictures and sounds transmission, BPSK is the most noise durable modulation technique compared with QPSK, 16PSK, and 256PSK. It can be shown from the least BPSK BER value compared with other three modulations. Received SNR value shows received image quality on receiver side. The simulation results show that on high noise channel condition (channel SNR <6dB) using 256PSK is better than BPSK, QPSK or 16PSK.

Keywords: OFDM, PSK, BER, SNR

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.

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

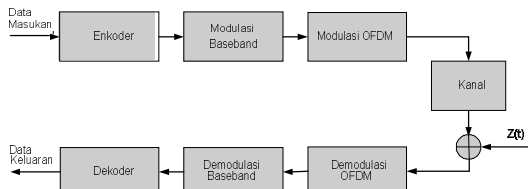
ditransmisikan secara simultan. OFDM memungkinkan pengiriman aliran data kecepatan tinggi dengan membaginya ke dalam aliran-aliran berkecepatan rendah. Proses yang dilakukan sama dengan teknik modulasi *multicarrier*, yang membedakan adalah penggunaan subpembawa yang saling *orthogonal* pada masing-masing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

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*.

Sistem OFDM sederhana ditunjukkan pada gambar 1

Ajub Ajulian Z, Imam Santoso (*ajub, immstso@elektro.ft.undip.ac.id*), adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang, Semarang 50275
Wike Septi Fadhila adalah mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, S.H. Tembalang, Semarang 50275



Gambar 1. Sistem OFDM sederhana

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

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

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

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

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

$$S(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp \left(j2\pi \left(f_c - \frac{i+0.5}{T} \right) (t-t_s) \right) \right\} \quad t_s \leq t \leq t_s + T \dots\dots\dots(4)$$

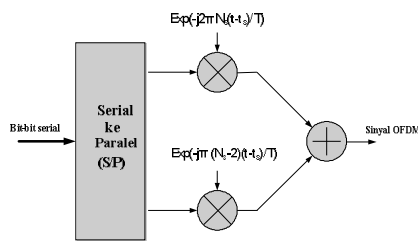
$$S(t)=0, \quad t < t_s \wedge t > t_s + T$$

Persamaan notasi *baseband* kompleks sering digunakan seperti pada persamaan

$$S(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=-\frac{N_s}{2}}^{\frac{N_s}{2}-1} d_{i+N_s/2} \exp(j2\pi(t-t_s)) \right\} \quad t_s \leq t \leq t_s + T \dots\dots\dots(5)$$

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

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

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.

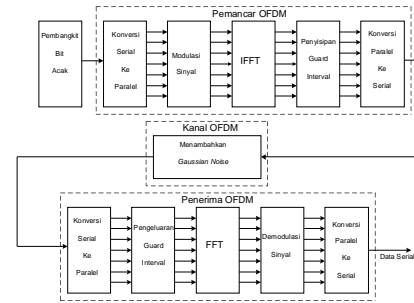
Phase Shift Keying

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 $Acos[\theta(t)]$. 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)*
2. *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*
3. *M-ary PSK.*

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK

Model Sistem OFDM



Gambar 3. Blok pemodelan simulasi

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.

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*.

Modulasi Sinyal

Setelah melalui *serial to paralel*, maka sinyal akan memasuki blok modulasi. Pada blok ini sinyal yang akan ditransmisikan diberi fasa referensi, disandi-diffrensialkan 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.

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

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.

Konversi Paralel ke Serial

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

Kanal Transmisi

Pemodelan kanal yang digunakan dalam simulasi ini adalah model kanal AWGN. Jika SNR lebih dari 300dB, dalam kanal tidak dapat dibangkitkan *noise*.

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.

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.

Fast Fourier Transform (FFT)

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

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).

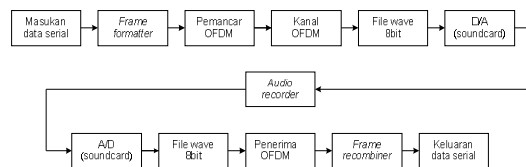
Konversi Paralel ke Serial

Pada blok ini, bit-bit informasi yang

masih berupa matriks jumlah *subcarrier* × jumlah simbol diubah kembali ke bentuk semula dengan cara dikonversi dari bentuk paralel ke bentuk serial.

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.

Parameter Sistem

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

Tabel 1. 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 2. 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

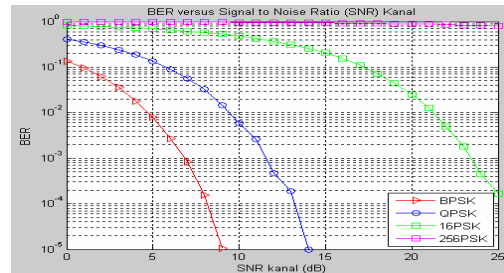
Keempat metode modulasi *carrier* tersebut akan dibandingkan kinerjanya. Pada pembahasan metode modulasi yang digunakan akan ditunjukkan sebagai BPSK, QPSK, 16-PSK, 256-PSK karena penyandian differensial (*differential encoding*) dianggap sebagai bagian yang sudah menyatu dalam transmisi OFDM.

ANALISIS HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

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.

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.

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

BPSK



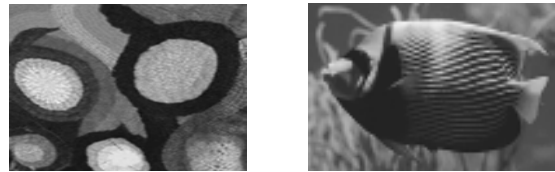
QPSK dengan 2 kali Perulangan



16PSK dengan 4 kali Perulangan



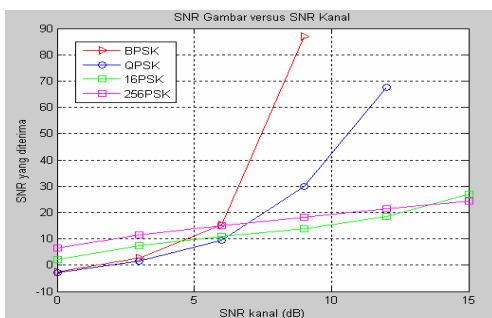
256PSK dengan 8 kali Perulangan



Gambar 8. Gambar untuk pengujian

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

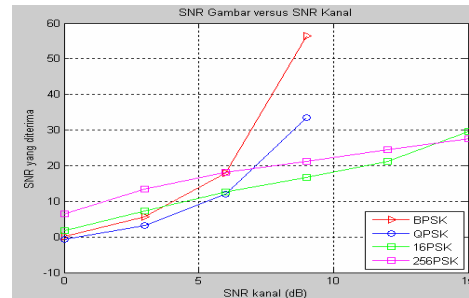
Berikut ini merupakan nilai-nilai SNR yang diterima, yang diperoleh dari penggunaan modulasi yang berbeda saat SNR kanal bernilai 0-15dB dengan kenaikan setiap 3dB.



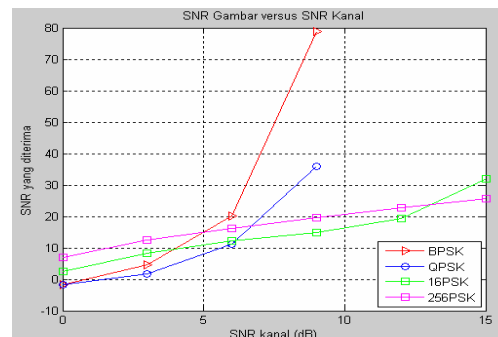
Gambar 7. Grafik SNR yang diterima terhadap SNR kanal

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 10. Grafik tes3.bmp

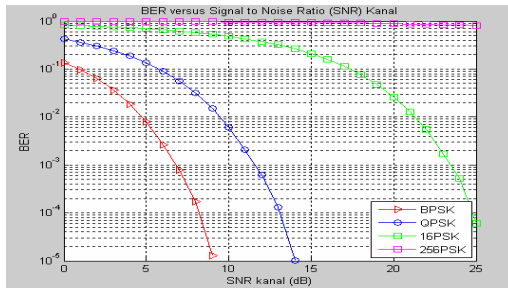


Gambar 11. Grafik fish.bmp

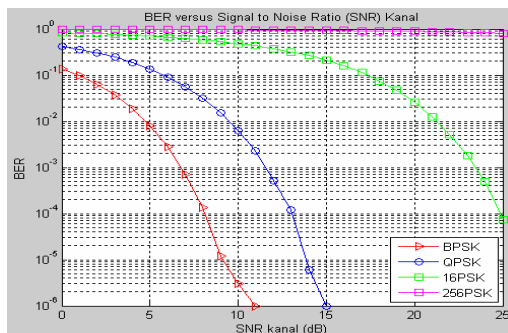
Dari beberapa pentransmisian gambar grayscale terlihat bahwa pada saat derau kanal tinggi maka kualitas gambar yang paling baik diperoleh dengan menggunakan modulasi 256PSK,

Analisis Modulasi M-PSK untuk Masukan Suara

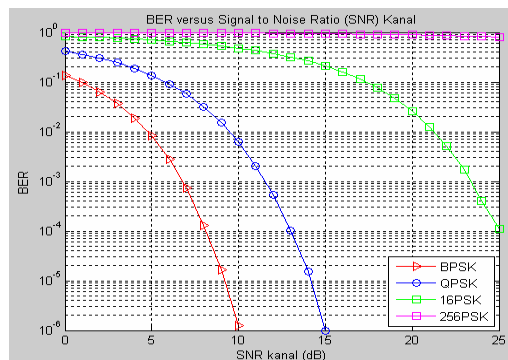
Suara yang ditransmisikan merupakan file LP1.wav berdurasi 4.42 detik, sebagai perbandingan ditransmisikan juga UB.wav berdurasi 7.42 detik, imyours.wav berdurasi 9.01 detik dengan frekuensi sampel 11025kHz, dan jumlah bit tiap sampelnya adalah 8bit. Dari pengukuran diperoleh grafik nilai BER sebagai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

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.

PENUTUP

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 256PSK memiliki kapasitas data yang paling banyak akan tetapi sensitif terhadap derau.
3. 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.
4. 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.

DAFTAR RUJUKAN

Faizin, M. Reza, Winarno, Yus Octavian, *Makalah Modulasi Jenis-Jenis dan Karakteristiknya*, Teknik Elektro Universitas Diponegoro, 2008

Lawrey, Eric, *COFDM as a Modulation Technique for Wireless Telecommunications, with a CDMA Comparison*, Oktober 1997

Puspito, Sigit, *Mengenal Teknologi Frequency Division Multiplexing (OFDM) pada Komunikasi Wireless*, Elektro Indonesia Nomor 24 Tahun V, 1999.

Sampei, Seiichi, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice Hall, 1997.

Sarif, Yofie H, *Analisis Pengaruh Derau Terhadap Laju Kesalahan Data pada Sistem OFDM*, Laporan Tugas Akhir Teknik Elektro Undip, 2004.